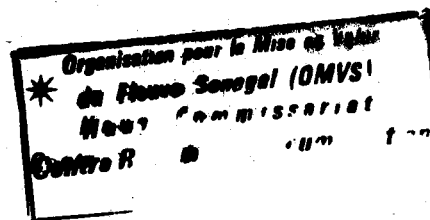


F.A.C.

**FONDS D'AIDE ET DE COOPÉRATION
DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**

O.M.V.S.

**ORGANISATION
POUR LA MISE EN VALEUR DU
FLEUVE SÉNÉGAL**



ÉTUDE D'EXÉCUTION DU BARRAGE DE DIAMA

Marché N° 06 O.M.V.S.

ROUTES D'ACCES ET DE LIAISON

*

RAPPORT DE PHASE I

*

DOSSIER GEOTECHNIQUE

Rapport de Synthèse

BOGREAH
GRENOBLE
(chef de file)

COYNE ET BELLIER
PARIS
N° 06 000
000

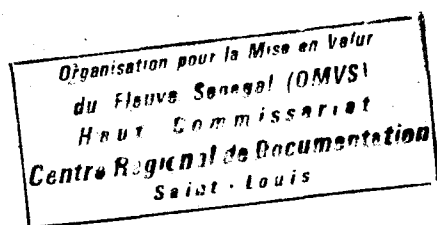
BCEOM
PARIS

09847

RAPPORT GEOTECHNIQUE

		<u>Pages</u>
Chapitre I	Généralités	1
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px auto; width: fit-content;"> <i>Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal (OMVS) Mars 1961 Commissariat Centre H. n-1 de Documentation Saint-Louis</i> </div>		
Chapitre II	Géologie régionale	
	. Aspect géologique	2
	. Particularités géomorphologiques du tracé	2
	. Inter-relations avec le tracé	5
Chapitre III	Sols de plateforme	
	. Reconnaissance	6
	. Classification	7
	. Résumé Conclusion	9
Chapitre IV	Emprunts	
	. Reconnaissance	10
	. Emprunts de coquillages	11
	. Emprunts de sables argileux	14
Chapitre V	Dimensionnement	
	. Matériaux de plateforme	16
	. Matériaux de couche de fondation	16
	. Matériaux de couche de base	17
	. Matériaux de couche de roulement	18
	. Cubatures	22
Chapitre VI	Assises de chaussée	
	. Tracé A	23
	. Tracé B	25
	. Tracé C	26
Annexes		
	Annexe 1 - Cartes de plans généraux	
	Annexe 2 - Compte-rendus d'essais	
	Annexe 3 - Fiches techniques des sites d'emprunt	
	Annexe 4 - Linéaire géotechnique	

1. GENERALITES



Le projet consiste à étudier une route de NOUAKCHOTT à SAINT-LOUIS se raccordant aux routes NOUAKCHOTT-ROSSO et SAINT-LOUIS-ROSSO en franchissant la basse vallée du fleuve Sénégal par le futur barrage de DIAMA.

La région concernée correspond à une ancienne embouchure du Sénégal, comblée à partir du tertiaire par des sédiments fluvio-marins et éoliens.

Cette région très plate comprend des zones inondables appartenant au lit majeur du fleuve et quelques reliefs qui sont, dans le delta, des tounds ou dunes fossiles d'altitude inférieure à 15 m et des levées ou alluvions fixées par la végétation ; l'altitude plus élevée de la région Nord correspond à la plateforme continentale n'appartenant plus au delta.

Tous les sols de cette zone sont des sols fins (parfois salés) allant du sable marin aux vases en passant par les granulométries intermédiaires. Leur faible consistance (limons, argiles) ou leur manque de cohésion (sable de dune) nous ont conduits à rechercher, parfois loin des tracés des matériaux présentant les qualités requises pour les corps de chaussée.

L'étude a été orientée vers la recherche de matériaux utilisables à l'état naturel ou par mélange.

Les sols ont été reconnus sur les 190 km de tracé représentant l'ensemble des variantes.

Les résultats de ces reconnaissances (sols de plateforme et emprunts) figurent dans ce rapport et en annexe.

2. GEOLOGIE REGIONALE

*Extrait r. pour la
réf. pour l'ensemble de
l'étude internationale C 4*

2.1. ASPECT GEOLOGIQUE

Le vaste bassin sédimentaire Sénégal-Mauritanien recouvrant le bouclier saharien Hercynien se complique dans sa bordure occidentale par quelques accidents tectoniques.

En effet cette bordure est marquée par un axe anticlinal allant du Lac de Guier à N'DIASS, par le jeu d'une faille côtière ayant provoqué du volcanisme à DAKAR et une forte subsidence post Eocène de la zone côtière, tandis que le jeu d'un système plus compliqué de failles créait un golfe à l'emplacement du delta sub-actuel.

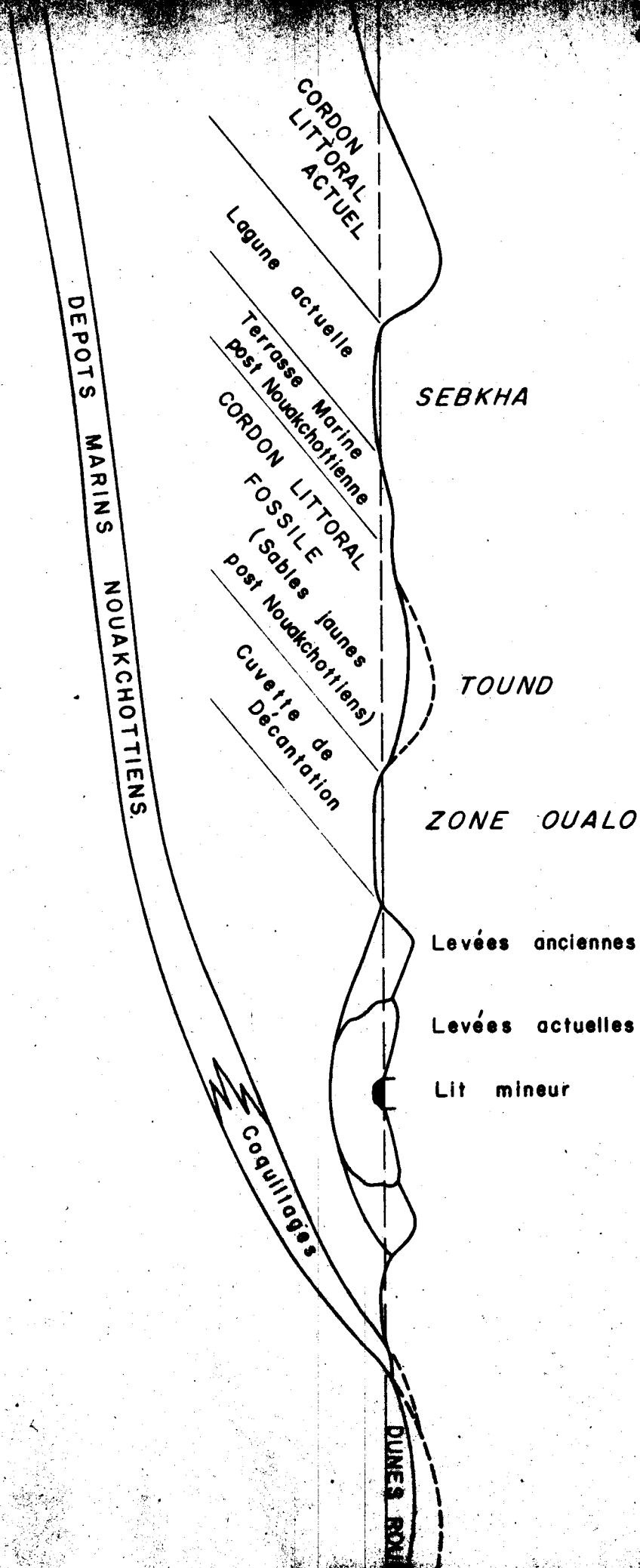
L'axe anticlinal a séparé un bassin intérieur où s'est déposée la puissante formation du continental terminal qui s'est trouvée coiffée en fin du tertiaire, début du quaternaire par une cuirasse ferrugineuse due à un climat de type équatorial.

Le quaternaire a vu dans cette région plusieurs variations de climat et du niveau marin qui ont particulièrement influencé la zone qui nous concerne.

- Au climat de type équatorial ont succédé deux retours d'un climat aride ayant produit les "dunes rouges" d'âge ogolien puis un remaniement des dunes rouges après une période de fixation.
- Les interglaciations ont entraîné des transgressions alternant avec les régressions des périodes glaciaires. Il en résulte dans la vallée du Sénégal et dans le Delta des alternances de sédimentation marine ou fluviatile, des remaniements des dunes éoliennes, des levées fluviatiles, des dépôts de terrasses, des surcreusements et des faciès lagunaires, l'étude détaillée de ces formations n'ayant pas sa place ici, nous n'énumérons ci-après que celles qui sont rencontrées sur le tracé.

2.2. PARTICULARITES GEOMORPHOLOGIQUES DU TRACE

La coupe schématique ci-contre est faite pour illustrer la succession des différentes formations rencontrées dans le delta. Elle ne tient pas compte des anciens lits abandonnés.



2.2.1. Dunes rouges :

Ce sont des dépôts continentaux anciens (antérieurs aux autres formations représentées). Elles appartiennent au rivage ancien ou à des îlots épargnés par la transgression Nouakchottienne. Leur relief très adouci ne présente aucune particularité. Elles sont fixées par la végétation.

2.2.2. Dépôts de coquillages :

Les niveaux les plus hauts (+ 1 m) se sont formés à la culmination de la transgression Nouakchottienne. Les bancs se rencontrent sur la façade océanique de l'ancien delta (AFTOUT - KHANT). Leur formation s'est arrêtée quand la progression du cordon littoral a rendu cette embouchure semi-lagunaire.

2.2.3. Les sables post-Nouakchottiens :

Ils ont comblé la partie océanique du delta et correspondent à des dunes marines et cordons littoraux anciens. Ces cordons plus ou moins arasés sont fixés par la végétation et représentent des reliefs très mous culminant à environ 10 m, appelés tound ou toundou.

2.2.4. Le cordon littoral actuel résulte d'une aridité croissante du climat favorisant les transports éoliens. Ce cordon est constitué de dunes vives.

2.2.5. Les sebkhas sont des terrains salés isolés de la mer par ce cordon littoral qui est plus occidental que les précédents ; elles se prolongent vers le Nord par l'AFTOUT et SAHELIEH.

2.2.6. Les levées fluviales sont des bourrelets de berges correspondant à une sédimentation fluviale limoneuse à la limite du lit majeur et du lit mineur. L'assèchement du climat et la légère régression post-Nouakchottienne ont assigné au niveau maximum des crues une limite plus basse entraînant un relief plus faible des levées actuelles. Les levées anciennes sont actuellement insubmersibles. Elles représentent le relief le plus marqué de la plaine deltaïque.

2.2.7. Les cuvettes de décantation :

Quelques ruptures dans les levées anciennes permettent au fleuve en crue d'envahir les basses terres situées au delà de ces levées. Ces basses terres n'ayant pas d'autres exutoires, la circulation d'eau se limite au remplissage et à la vidange et il ne s'y effectue donc qu'une sédimentation très faible, essentiellement argileuse. Les vastes mares résiduelles régressent considérablement au cours de la saison sèche, par évaporation. Quelques marigots de communication demeurent cependant tout au long de l'année des passages difficiles.

2.3. INTER-RELATIONS AVEC LE TRACE

Les deux variantes proposées ont donc pour premier principe d'emprunter au maximum les zones insubmersibles, c'est-à-dire :

- les levées fluviales anciennes pour le tracé A
- les tounds pour les tracés B et C.

Le surcroît d'entretien imposé par l'ensablement, l'absence à proximité de matériaux pour stabiliser les sables, et l'accroissement de longueur du tracé ont conduit à éliminer l'idée d'un tracé empruntant le cordon littoral.

3 - SOLS DE PLATEFORME

3.1. RECONNAISSANCE

Ils ont été reconnus par 67 puits effectués manuellement et se répartissant ainsi :

- 9 puits sur le tracé C (accès côté Sénégal) numérotés C1 à C9
- 6 puits sur le tracé commun à la route (tracé A) et aux digues hautes, numérotés A2 à A26. Les puits 1, 18, 19 et 20 étant communs aux tracés A et B ne sont pas précédés d'une lettre de tracé.
- 3 puits sur le tracé A, variante A sont numérotés A27 à A29
- 3 puits sur le tracé A variante B sont numérotés 1A à 3A
- 30 puits sur le tracé B numérotés 1, puis B2 à B33 (la numérotation passe de B14 à 18, 19, 20, B21, B22) par suite de la convergence avec le tracé A).

Soit (compte tenu des troncs communs) 67 puits de reconnaissance.

Des échantillons ont été prélevés dans ces puits, en fonction des particularités des couches rencontrées.

Les essais effectués sur ces échantillons ont été essentiellement des essais d'identification :

- Limites d'Atterberg
- Equivalent de sable
- Analyse granulométrique

Des essais Proctor Modifié ont été effectués, soit pour connaître l'optimum de teneur en eau au comptage, soit pour des essais de portance (CBR).

Des essais CBR ont été réalisés sur matériau homogène ou hétérogène, pour appréhender les qualités de plateforme en zone d'emprunt homogène ou hétérogène.

Les résultats de ces essais figurent en Annexe 2 (compte-rendu d'essais) et sur le linéaire géotechnique (Annexe 4).

3.2. CLASSIFICATION DE SOLS

On ne rencontre à proximité du tracé que des sables et des sols fins.

Famille I (sables)

Ils ont une granulométrie serrée (en moyenne 80 % de $d - D = 0,08 - 0,4$ mm) et une propreté variable.

Filler < 3 % Sable éolien blanc des tounds
 3 % < Filler < 16 % Terrasses marines et dunes rouges
 10 % < Filler < 35 % Sables remaniés argilo-limoneux

Groupe a (sables propres). Ils correspondent sensiblement aux catégories :

A - 3 (HRB) moins de 10 % de filler
 Sm (USCS) moins de 12 % de filler

Du fait de leur granulométrie serrée, ils ont une densité (OPM) moyenne : 1,72 à 1,75.

Et du fait de leur manque de cohésion, un indice CBR assez faible : 14 à 18 à 95 % de l'OPM. Leur ES (à l'exception de 2 échantillons sur 14) se situe entre 40 et 97, avec une valeur moyenne de 66.

Dans les zones non inondables, on pourra envisager la constitution d'une couche de forme en sols fins peu plastiques.

Le sable éolien des tounds pourra servir de couche anti-capillaire entre le limon des digues et la couche de fondation.

Groupe b (sables pollués)

Ils correspondent sensiblement aux catégories :

A-2-4		35 %	<	filler	<	10 %
A-2-6	(HRB)	LL	<	40		
SL - SA	(USCS)	50 %	<	filler	<	12%

En éliminant l'échantillon du sondage B.33 (sable fin de dune dont ES = 57) on obtient un ES moyen de 19, compris entre les valeurs extrêmes 14 et 24,5.

Les densités (OPM) s'échelonnent entre 1,91 et 2,10 avec une valeur moyenne de 2,03.

A 95 % de l'OPM, on a une valeur moyenne du CBR de 31,5 avec les valeurs extrêmes 44 et 20.

On a envisagé l'utilisation de ces sables en couche de fondation. On trouvera donc une grande partie des résultats sur ces sols dans le tableau des résultats d'essais sur les emprunts E1 à E18 (page 15 Bis)

Familles II, III, IV - Sols fins -

Sur la représentation de CASAGRANDE (fig. ci-contre) un groupe s'individualise nettement dans la zone des sols peu plastiques (famille II où $LL < 30$) bien que la suite s'étire sans délimitation précise vers les sols de plus en plus compressibles, la limite $LL = 50$ sépare nettement deux familles d'origines différentes (Famille III et famille IV).

Famille II ($LL < 30$)

Ces sols sont tous classés A4 ($LL < 40$, $IP < 10$) dans la classification du HRB, à l'exception des sondages A4, B5, C5, classés A6 ($IP > 10,1$). Ils semblent tous correspondre aux " limons " des levées fluviales anciennes. Ils sont pratiquement absents de la vallée du Djeuss qui est une vasière récente.

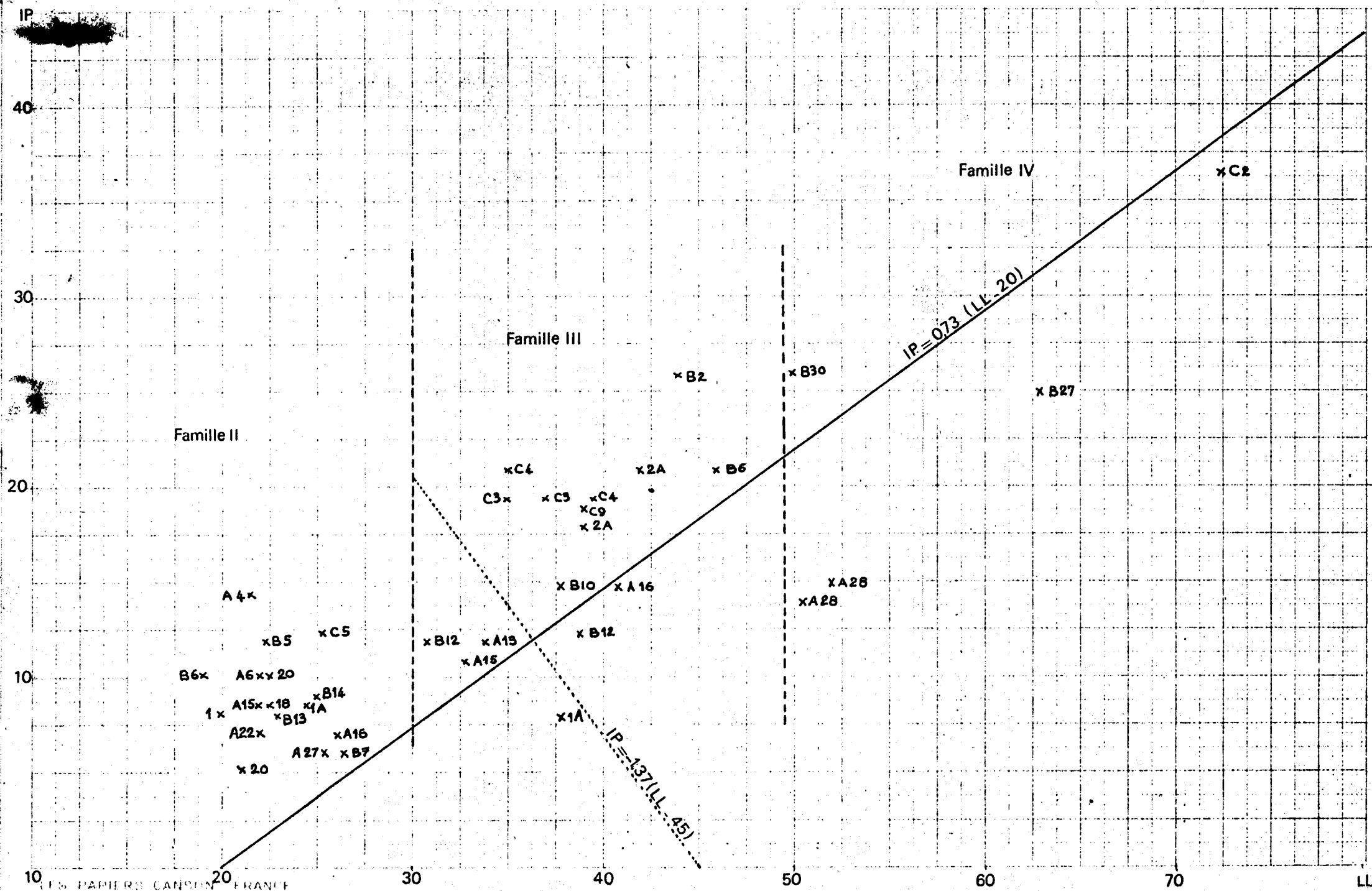
Leur densité moyenne (OPM) est de 1,86 T/m³ et leur CBR, à 95 % de l'OPM, après imbibition, est légèrement supérieur à 10.

Famille III, limons des sebkhras (organiques en profondeur) et sols argilo-limoneux des terrasses mal drainées du lit majeur.

Ces sols sont classés A6 ou A7 (HRB), suivant leur position par rapport à la limite $LL = 40$ à l'exception du sondage 1A classé A4 car son $IP = 8$.

La limite $LL = 40$ semble aussi correspondre à la séparation entre les CBR inférieurs et supérieurs à 10 à 95 % de l'OPM.

Famille IV, classés A7 (HRB) ou At ou Lt (USCS). Ces sols comprennent les argiles des cuvettes de décantation (ou limons dans les dépressions dunaires) et les vases des vasières actuelles. Ces sols étant assez peu représentés sur les tracés, on devra s'efforcer dans la suite de l'étude de circonscrire leur extension pour envisager les possibilités de décapage ou de consolidation par drainage.



En résumé

- Les sables propres (Famille Ia) sont trop peu cohérents et mal gradués pour constituer une assise routière. Ils devront être traités au limon (15 à 20 %) pour la constitution d'une couche de forme de 15 à 20 cm praticable par les engins de chantier.

En revanche, les sables de tounds ayant en général moins de 5 % de fines et un ES supérieur à 80 seront utilisés pour la confection d'une couche anti-capillaire sur les digues. Couche dont la réalisation devra être immédiatement suivie de celle de la couche de fondation.

- Les sables pollués (famille Ib) sont en fait ceux qui ont les meilleures propriétés du fait de leur courbe plus étendue et de leur cohésion. Leurs qualités routières sont traitées au sujet des emprunts.
- La famille II est formée de sols argilo-limoneux pouvant (du fait de leur maniabilité à une faible teneur en eau) se mettre en place facilement. On peut étendre cette famille pour les limons peu plastiques jusqu'à $I_p \rightarrow 37$ (LL - 45) (voir figure page 8).
- La famille III est composée de sols qui poseront peu de problèmes en place, mais qu'il n'est pas souhaitable d'utiliser en remblais (difficultés de compactage). Les tassements sous remblai seront généralement faibles.
- La famille IV est formée de sols compressibles, donc une étude complémentaire s'impose pour déterminer avec précision leur épaisseur et leur étendue sous le tracé.

En fonction de ces paramètres, seront préconisés : décapages, systèmes drainants, préchargement ou autres solutions tendant à limiter les tassements importants à la période de construction de la route.

Les zones où ces sols sont à craindre sont : les vasières de Djeuss, certains passages dans le bassin de Tiambrank et du Diaouling, et tous les passages de marigots.

4 - EMPRUNTS

4.1. RECONNAISSANCE

Toute la région (y compris les plateformes continentales en bordure du delta) a été prospectée en vue de trouver les matériaux nécessaires à la construction de chaussées.

Les affleurements se répartissent ainsi :

- sables argilo-limoneux dans tout le Delta et notamment à la limite des massifs sableux, tant à la limite des formations fluviatiles (levées) qu'à la limite de cuvettes de décantation dans les dépressions dunaires. La seule zone assez dépourvue se situe entre le Tiambrank et le Ndiadier, région de l'estuaire ancien qui a emporté une grande partie des formations sableuses.
- tout-venant de coquillages : sur les anciens rivages continentaux exposés au nord-ouest. Les lamellibranches marins du Nouakchottien (Arca Sénilis) forment des gisements dans la dépression du Khant au Sénégal, en bordure du Tound Maraye, à l'est de l'île de Tieng et d'autres petits gîtes le long de l'Aftout es Sahélié, gîtes de moins en moins importants de Nouakchott jusqu'au Sénégal.
- latérite : principalement au sud du fleuve, à partir du N'Diael, en fait les gisements intéressants se rencontrent à l'amont du lac de Guiers (Richard Toll). On en a aussi trouvé en Mauritanie sur la piste rejoignant la route Rosso-Nouakchott à 22 km de Rosso. Un lambau de cuirasse a été rencontré sur le tracé B aux environs du PK 37.

160 puits ont été creusés manuellement dans les zones exploitables.

- Ces puits ont permis de déterminer l'extension des gisements et les cubatures exploitables.
- Des essais d'identification ont été faits sur les échantillons prélevés dans ces puits. On a ensuite recomposé des mélanges d'échantillons provenant de plusieurs puits du gisement pour obtenir les caractéristiques moyennes du gisement.

Les caractéristiques des gîtes exploitables figurent dans les fiches techniques des sites d'emprunts (Annexe 3) et les résultats d'essais sont consignés dans le tableau figurant en page 15 Bis.

Des résultats, par sondage, figurent en annexe 2 et en page 15 Bis.

4.2. LES EMPRUNTS DE COQUILLAGES

4.2.1. Site du Khant

C'est un rivage fossile de plusieurs kilomètres de long dans l'axe duquel s'engage la piste d'accès. Il est exploité en bout de cette piste sur plusieurs kilomètres carrés.

L'exploitation se fait actuellement de façon artisanale et empirique, c'est-à-dire que la surface est tourmentée par les excavations d'emprunts, des tas de matériaux gerbés et d'autres tas, résidus de criblage. L'exploitation n'ayant pas été conduite de façon systématique, il reste des parties vierges du gisement entre les zones d'emprunt. Il est donc encore possible d'exploiter dans cette zone de grandes quantités de matériaux.

Néanmoins, pour cette étude, une zone vierge a été prospectée, à l'ouest de la zone d'emprunts actuels, c'est-à-dire topographiquement à un niveau légèrement inférieur.

Parmi les 35 sondages figurant sur la fiche technique du site, 25 présentent une épaisseur exploitable au moins égale à 30 cm, en ne considérant que ces 25 points et en admettant un coefficient de perte à l'exploitation de 30 %, on obtient un volume exploitable de 110.000 m³.

Etant donné l'extension du site, les possibilités d'emprunts semblent dépasser très largement les besoins du projet.

4.2.2. Site de l'Aftout

Dans cette région, de nombreux sites ont été prospectés, soit d'après les indications d'études antérieures (Route Nouakchott-Rosso ; aménagement de l'Aftout par SOGREAH, publications géologiques) soit d'après des indices sur le terrain. La plupart des sites mentionnés dans le sud de l'Aftout, dans l'étude de la route Nouakchott-Rosso sont peu intéressants et on a pu constater que les gisements de banco-coquillages présentent, soit une faible extension, soit une faible épaisseur comparée à celle de la découverte (par exemple 10 cm de banco-coquillage sous 1 mètre de découverte).

Le gisement retenu ici (EC-1) présente un pendage vers l'E.N.E. d'environ 1,5 %. Dans les 52.500 m² retenus, la profondeur d'affleurement ne dépasse pas 1,5 m et le volume estimé, compte tenu d'une perte possible à l'exploitation de 1/3, est de 27.000 m³. On peut espérer une extension possible vers l'E.N.E., mais sous une épaisseur de découverte dépassant 1,5 m.

Les sites EC-2 et EC-3 définis lors de l'étude de la route Nouakchott-Rosso mais n'ayant pas été exploités sont utilisables mais n'ont pas été pris en compte dans cette première phase.

En conclusion, cette première phase d'étude a permis de cerner les différents caractères des zones proches du tracé, il reste néanmoins à approfondir certains domaines de l'étude.

La recherche de coquillages dans l'Aftout, en particulier, devra se faire avec des moyens mécaniques rapides permettant une investigation beaucoup plus fine.

4.2.3. Caractéristiques et emploi du banco, coquillage et du sable coquillier

Ces deux matériaux se caractérisent par un palier dans la courbe granulométrique entre 0,5 et 5 mm. Ce qui traduit un mélange discontinu comprenant :

- les coquillages de granulométrie (d-D) 5-80 (ou fragments de coquillages) qui sont essentiellement des fossiles d'Arca Senilis. D'autres espèces volumineuses (Corbula) bien que fréquentes, forment rarement des gites appréciables.

Le test de ces bivalves est épais, en particulier la région articulaire ornementée d'une charnière en peigne fin (cténodonte). Beaucoup de coquilles comprennent encore les deux valves. Suivant les gisements, la proportion de cette classe granulaire varie de 20 à 55 %.

- la matrice qui est un sable SA - Sm du type des sables de terrasses marines c'est-à-dire de granulométrie:

< 2 mm	: 100 %
< 0,4 mm	: 80 à 100 %
< 0,08 mm	: 5 à 15 %

définit les sables coquilliers (Aftout). Lorsque la matrice est argileuse, (% < 0,08 mm : 15 à 40) c'est-à-dire de type SA ou AL, la formation est alors appelée banco-coquillage (Khant).

Les procédés de mise en oeuvre de ces matériaux dépendent essentiellement des conditions d'exploitation et des coûts de traitement et de transport.

En effet, l'indice portant (CBR) croît avec la proportion de coquillages dans le matériau, on peut donc envisager, suivant les zones exploitées :

a/ Un matériau présentant la qualité requise pour une mise en oeuvre sans traitement (CBR > 80):

- Si les coûts de criblage ou de débouillage ne sont pas compétitifs avec les coûts de transport de la fraction granulométrique 0 - 2 mm on envisagera la mise en oeuvre du matériau à l'état naturel.

- Si le débourage ou le criblage est plus avantageux que le transport de cette fraction (matrice), on envisagera le scalpage du matériau à 5 mm, le transport de la seule fraction 5 - 80 mm et la reconstitution sur chantier avec le sable local.

b/ Un matériau irrégulier, ne présentant pas toujours les qualités requises pour la mise en oeuvre sans traitement. Le traitement pourrait alors consister en :

- enrichissement en fraction 5 - 80. Suivant les fuseaux des échantillons prélevés dans le Khant, on peut admettre que l'apport de 5 - 80 serait au maximum de 20 % du matériau en place. (Cas d'un matériau ne contenant que 15 % d'éléments supérieurs à 0,2 mm et dont on corrige la formule pour en obtenir 32 % soit un CBR vraisemblablement voisin de 100 à 95 % de l'OPM).
- traitement au ciment en centrale. Le résultat obtenu sur un mélange contenant 28 % d'éléments supérieurs à 2 mm (mélange M1 du Khant) traité à 3% de ciment (CBR = 320 à 95 % de l'OPM) laisse encore entrevoir une autre possibilité d'amélioration de matériaux soit déficients à l'état naturel, soit, recomposés avec une faible proportion de 5 - 80.

CONCLUSION

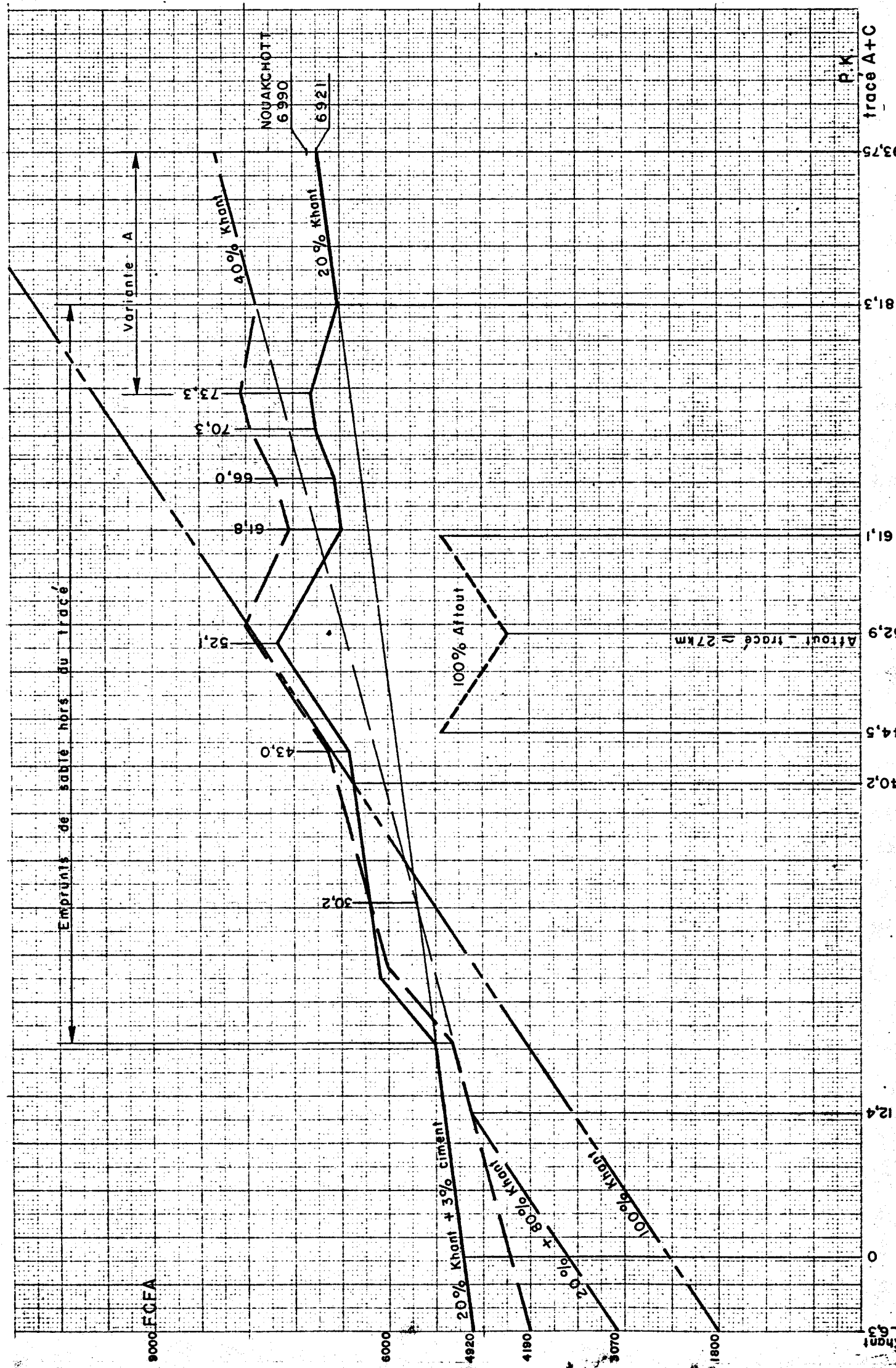
Les tableaux ci-contre font ressortir les domaines de validité des différentes solutions en fonction des prix que nous avons pu obtenir pour une approche financière des solutions.

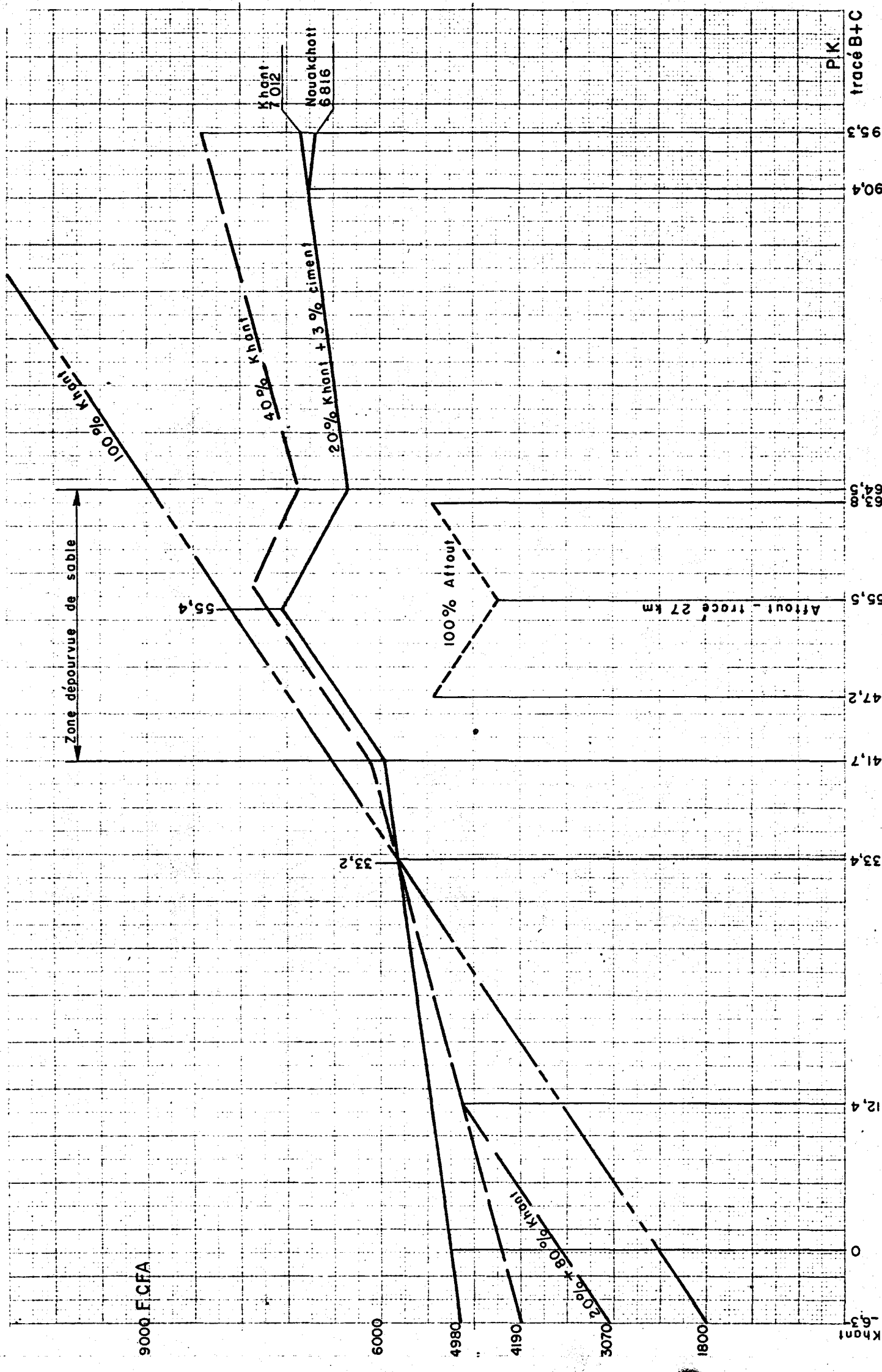
Prix du m3 en place en F.CFA pour une distance de transport d

Extraction	800
Criblage	600
Recomposition niveleuse	150
Recomposition centrale	800
Traitement ciment	1200
Mise en oeuvre	1000
Transport It. terrain	100/Km
Transport route	80/Km

Rendement du gisement en 5 - 80

Khant	25 %
Nouakchott	50 %





d = distance de transport entre gite et utilisation sur route.

- 20 % coquillages + ciment = $20 d + 4920$ (Khant)
- 40 % coquillages = $40 d + 4190$ (Khant)
- 100 % tout venant = $100 d + 1800$ (Khant)
- 20 % coquillages + ciment = $20 d + 6990$ (Tracé A - Nouakchott)
- 40 % coquillages = $40 d + 8440$ (Tracé A - Nouakchott)
- 20 % coquillages + ciment = $20 d + 6816$ (Tracé B - Nouakchott)
- 80 % tout venant + 20 % coquillage = $100 d + 3070$ Khant

Les distances de transport sont cumulées dans les équations ci-dessus à partir du Khant ou à partir de la route Nouakchott-Rosso suivant l'origine des matériaux.

Dans les graphiques ci-contre :

- 100 % Khant signifie tout venant du Khant
- 80 % Khant signifie tout venant du Khant
- 40 % Khant signifie 40 % de granulats 5-80 du Khant
- 20 % Khant signifie 20 % de granulats 5-80 du Khant

Les granulats sont recomposés avec le tout venant du Khant (80 % du Khant) ou avec du sable local et éventuellement du ciment.

4.3. LES EMPRUNTS DE SABLE ARGILEUX

4.3.1. Sites

Ils se situent tous à proximité des tounds, des dunes et dans les dépressions dunaires inondables, c'est-à-dire à proximité des massifs de sable. A l'intérieur du Delta, les gisements sont communs aux tracés A et B et se situent en bordure du Tound Beret, du Tound Hagui et de Keur Macène. A l'extérieur du delta, des emprunts ont été reconnus dans les dépressions dunaires à proximité des différentes variantes. Les emprunts pour le tracé C se situent en bordure du Tound N'Guinor.

Les moyens mis en oeuvre en avant-projet pour la reconnaissance de sols de plateformes et d'emprunts (280 journées de manoeuvres) ont permis de creuser plus de 300 puits mais, vu les hétérogénéités rencontrées notamment dans les gisements de coquillages de l'Aftout et dans les gisements de sable argileux, ce nombre s'est révélé faible pour la délimitation de ces derniers. Une investigation plus fine (maillage 50 mètres) devra être entreprise dans la prochaine phase d'études pour circonscrire les gisements et les volumes exploitables de façon définitive.

4.3.2. Caractéristiques des sables argileux

Ces sols se sont révélés acceptables pour constituer une couche de fondation puisqu'après imbibition, leur CBR est :

- . supérieur à 20 à 95 % de l'OPM
- . supérieur à 30 à 97 % de l'OPM

Ils sont classés A-2-4 (0) ou A-2-6 (0) dans la classification HRB suivant la position de leur Indice de Plasticité par rapport à 10 et SL-SA dans la classification USCS.

Les qualités de portance semblent indépendantes de la nature du mortier et de la densité sèche (OPM) mais ont tendance à être faibles lorsque la teneur en fines est inférieure à 15 %.

70 m/m/an ~~200~~ 200/1000

5 - DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement de la route sera conforme à une classe de trafic T2 c'est-à-dire pour un nombre de poids lourds de PTC supérieur à 3 tonnes compris entre $5 \cdot 10^5$ et $1,5 \cdot 10^6$ Poids Lourds, pour une durée de vie de 15 ans.

5.1. MATERIAUX DE PLATEFORME

A - SABLES PROPRES

Ce sont les sables rencontrés dans les tounds et les dunes. Leur CBR à 95 % de l'OPM va de 15 à 20 en moyenne.

On doit donc envisager une épaisseur de couche de fondation de 25 cm.

B - LIMONS

Leur CBR est de 10 si on se limite aux A-4-8 ; les A-6 sont à proscrire. 25 cm de couche de fondation sont donc suffisants. La confection d'une couche anticapillaire en sable de tound va dans le sens de la sécurité, étant donné que la valeur 10 est le seuil de validité de ce dimensionnement.

5.2. MATERIAUX DE COUCHE DE FONDATION

Cette couche exige un CBR supérieur à 30 à 97 % de l'OPM (après imbibition) ou supérieur à 20 à 95 % de l'OPM.

Néanmoins, on imposera une compacité permettant dans tous les cas d'avoir un CBR supérieur à 30.

A - SABLES ARGILEUX

Ils remplissent les conditions ci-dessus définies. On les utilisera en couche de 25 cm. Le volume exploitable des emprunts répertoriés semble donc suffisant.

B - SABLO-COQUILLAGE

Etant donné le CBR des sables de tounds et de dunes, il semble, si un inventaire plus complet des matériaux du Khant en confirme la possibilité, qu'on puisse réaliser un mélange de 80 % de sables de tound et 20 % de coquillages 5 - 60 dont les caractéristiques seraient les suivantes :

- CBR > 30 à 97 % de l'OPM
- Coût non prohibitif d'autant plus que le matériau serait anti-capillaire et éviterait donc la réalisation d'une telle couche.

La reconstitution sur chantier à la niveleuse semble suffisante étant donné que les sables considérés ont déjà un CBR de 15 à 20 à 95 % de l'OPM.

5.3. MATERIAUX DE COUCHE DE BASE

De l'approche économique faite au chapitre précédent, il ressort que deux types de matériaux semblent s'imposer généralement :

- tout venant de l'Aftout ou du Khant
- sable coquillier-ciment

Néanmoins, deux autres solutions sont envisagées pour pallier soit à une déficience par rapport aux caractéristiques escomptées, soit à une inadaptation des paramètres aux réalités économiques.

Les caractéristiques imposées à cette couche sont en effet un CBR supérieur à 80 à 97 % de l'OPM, après imbibition, et, compte tenu de la classe de trafic une épaisseur de 15 cm.

A - TOUT-VENANT DE COQUILLAGE

Qu'il s'agisse du banco-coquillage du Khant, ou du sable coquillier de l'Aftout, les matériaux analysés peuvent remplir les conditions ci-dessus définies.

Néanmoins, on imposera la condition (normale pour l'Aftout, mais contraignante pour le Khant) que le tout-venant contienne au moins 40 % d'éléments supérieurs à 2 mm, ce qui assure une marge confortable du CBR par rapport à 80.

Cette condition, bien que contraignante semble réalisable, étant donné que sur tout le gisement, on peut réserver la zone la plus riche pour ce tout-venant, le reste n'étant utilisé qu'après criblage ou débourage.

B - TOUT-VENANT ENRICHI AVEC 20 % DE 5-80

Cette solution n'est envisagée que dans l'hypothèse où pour les besoins d'un chantier préalable, la meilleure partie du gisement aurait déjà été exploitée, ce qui nous contraindrait à exploiter des zones plus pauvres ne contenant que 15 à 20 % de granulats supérieurs à 2 mm.

La solution tout-venant dans ce cas, n'est pas compétitive sur une grande distance avec la solution sable coquillier-ciment (1).

C - SABLE COQUILLIER CIMENT

Vu la croissance rapide des coûts de transport, le sable coquillier considéré n'est pas un tout-venant de gravière mais un matériau recomposé avec :

- 20 % de coquillages 5 - 60 du Khant ou de Nouakchott
- 77 % de sable local (de dune ou de tound)
- 3 % de ciment

Pour l'homogénéité de la stabilisation, il est souhaitable que la reconstitution se fasse en centrale. Le prix du produit considéré en tient compte, cependant il n'est applicable que dans le cas d'une centrale mobile (type travel-plant) sinon, le coût du transport du produit fini rend plus compétitive la solution du " tout-venant " recomposé.

D - "TOUT-VENANT "RECOMPOSE

La forme des courbes granulométriques des tout-venants de l'Aftout et du Khant peut s'obtenir en recomposant 30 à 50 % du refus à 2 mm du Khant ou de l'Aftout avec 50 à 70 % des sables ou sables argileux rencontrés le long des tracés. En conséquence, pour dégréver le tout-venant d'une partie des coûts de transport, (il est évident qu'à partir d'une certaine distance les coûts de criblage et de reconstitution seront inférieurs au coût de transport de la fraction 0 - 2mm), la solution de reconstitution de 40 % de 5 - 80 du Khant avec les sables locaux sera préférable à la solution tout-venant.

5.4. MATERIAUX DE COUCHE DE ROULEMENT

Compte tenu de la classe de trafic et des prix et exemples récents de réalisations régionales, on peut envisager différentes solutions.

Exemples :

- Bicouches

a) Nouakchott 1973 (COLAS)

- . 2,5 kg d'émulsion à 60 %
- . 25 l de coquillages criblés (local-sans concassage)
- . 5 l de sable coquiller (local) 540 CFA/m²
- Prix actualisé 730 CFA/m²

(1) Voir tableaux page 13.

b) Boutlimit-Aleg (1-1975)

Sans précisions	785 CFA/m2
Prix actualisé	942 CFA/m2

c) Rosso-Dagana 1976

Fourniture et transport cut-back 400/600

. 152.320/T x 0,025 = 381 CFA/m2

Fourniture gravillon 8/16 (Dakar)

. 21.900/m3 x 0,012 = 263 CFA/m2

Fourniture gravillon 3/8 (Dakar)

. 22099/m3 x 0,013 = 288 CFA/m2

Exécution du revêtement bicouche

148 CFA/m2

 1.080 CFA/m2
- Enrobés densesa) Nouakchott 1973 (COLAS)

. 60 kg/m2

Sans précision de formule

1.000 CFA/m2

Actualisation

1.330 CFA/m2

b) Nouakchott-Boutlimit (1-1975)

Sand Asphalt (4 cm soit 100 kg/m2)

. 55 % sable de dune

. 40 % sable coquillier

. 5 % filler

. 7,35 % bitume

1.060 CFA/m2

Actualisation

1.270 CFA/m2

c) Boutlimit-Aleg (1-1975)

Sand Asphalt 80 kg/m2

1.025 CFA/m2

Actualisation

1.230 CFA/m2

FORMULATIONS POSSIBLES :A - BICOUCHES

- Bicouche n° 1 - Gravillon basaltique Dakar
Même formulation et même prix : 1.080 CFA/m²
que l'exemple précédent Rosso-Dagana
- Bicouche n° 2 - Gravillon coquillier Nouakchott
Prix Nouakchott 1973 actualisé : 730 CFA/m²
Transport : 170 (km) x 80 (CFA) x 0,025 (m³) 340 CFA/m²

1.070 CFA/m²

B - ENROBES DENSES

- Sand Asphalt-sable coquillier Nouakchott 80 kg/m²
Prix comparable à Boutlimit-Aleg : 1.230 CFA/m²

- Enrobé dense 10-14

On peut envisager à partir des matériaux locaux (Aftout) de composer une formule d'enrobé dense en matériaux semi-concassés.

Cette formule telle qu'on l'établit ici n'est donnée qu'à titre indicatif, pour obtenir un ordre de grandeur du prix de revient.

En comparant le fuseau des recommandations SETRA au fuseau des matériaux de l'Aftout, on obtient :

<u>SETRA</u>		<u>Valeur moyenne</u>	<u>Aftout</u>	<u>Valeur moyenne</u>
> 14	0 - 10 %	5 %	17 - 35 %	26 %
10/14	22 - 40 %	31 %	0 - 25 %	6,5 %
6/10	10 - 28 %	19 %	0 - 21 %	4,5 %
2/6	0 - 25 %	12,5 %	0 - 22 %	7,5 %
0/2	25 - 40 %	32,5 %	48 - 63 %	55,5 %

Compte tenu du rapport en 2/14 des deux formules et d'un rendement de 75 % de la réduction du > 14 en 2/14, les 27.000 m³ de l'Aftout produiront 14.200 m³ de matériaux utilisables.

Les besoins pour 760 000 m² à 80 kg par m² sont de 24.300 m³. Sur les 10.100 m³ manquants, 55 % sont à importer sous forme de 6/14 de Nouakchott, soit 5 555 m³, les coûts peuvent s'établir ainsi :

- Extraction Aftout	27 000 m ³		
- Extraction dunes	9 250 m ³		
- Extraction Nouakchott	14 000 m ³		
	800 x	50 250 m ³	= 40 200 000 CFA
- Criblage Aftout	27 000 m ³		
- Criblage Nouakchott	14 000 m ³		
	600 x	41 000 m ³	= 24 600 000 CFA
- Concassage Aftout + criblage	7 000 m ³		
- Concassage Nouakchott + criblage	4 300 m ³		
	1 000 x	11 300 m ³	= 11 300 000 CFA
- Transport Aftout	9 372 x 2 700 x 0,66		= 25 304 000 CFA
- Transport Nouakchott	5 555 x 80 x 200		= 88 880 000 CFA
- Cut-back	400 - 600 : 4 250 T (7 %)		
	152 320 x 4 250		= 647 360 000 CFA
- Recomposition en centrale et mission oeuvre	24 300 x 1 800		= 43 740 000 CFA

Prix moyen..... 1 160 CFA/m²

Cette solution, nous le répétons, n'est donnée qu'à titre indicatif, pour montrer qu'elle est compétitive et mérite d'être étudiée plus amplement, notamment, la définition du fuseau optimum correspondant au mélange :

- . concassé de coquillages
- . graveleux naturel coquillier
- . sable de dune

La comparaison avec un fuseau SETRA n'est qu'une hypothèse de travail à vérifier.

C - CONCLUSIONS

Nous retiendrons donc :

- comme solution la plus sûre, le bicouche à base de gravier basaltique de DAKAR.
- comme solution dont on doit tester la compétitivité (prix réels et non réajustés) ou la faisabilité :
 - . le bicouche à base de concassé de Nouakchott
 - . l'enrobé dense utilisant les matériaux de l'Aftout.

5.5. CUBATURES NECESSAIRES

A - COUCHE ANTICAPILLAIRE

Les besoins unitaires sont de 2 040 m³/km.

B - COUCHE DE FONDATION

Le volume de matériau (sable argileux) prélevé par zone d'emprunt figure sur le linéaire géotechnique (annexe 4).

Les besoins unitaires sont de 3 250 m³/km.

C - COUCHE DE FONDATION BASE

Les besoins unitaires sont de 1 650 m³/km.

		Khant Extraction
- tout-venant du Khant		
40,2 x 1 650 km = 66 330 m ³ (A + C)		66 380 m ³
33,4 km x 1 650 km = 55 110 m ³ (B + C)		55 110 m ³
- 20 % Khant + 3 % ciment + sable de dune		
Tracé A : 53,55 x 1 650 = 88 358		70 687 m ³
Tracé B : 57,00 x 1 650 = 94 050		75 240 m ³
- 20 % Nouakchott + 3 % ciment + sable		Extraction NKT
Tracé B : 4,90 x 1 650 = 8 085		3 500 m ³
L'extraction dans le Khant sera donc au maximum de :		137 020 m ³

D - COUCHE DE ROULEMENT

Les solutions bicouches en gravillon de Nouakchott ou Dakar n'ont pas tenu compte, dans la présente étude, des possibilités d'approvisionnement dans ces deux gisements.

En revanche, la solution enrobé dense nécessitera 24 320 m³ de matériau exigeant l'extraction de :

- 27 000 m³ dans l'Aftout
- 12 020 m³ à Nouakchott, dans l'hypothèse :
 - d'un rendement du gisement en > 4 mm de 50 %
 - d'un rendement au concassage du > 14 mm de 75 %
 - d'une proportion de : > 14 mm de 30 %

6. ASSISES DE CHAUSSEE

6.1. TRACE A

6.1.1. Remblais

Ils sont constitués par les limons des digues hautes jusqu'au PK 55,2 pour la variante A, jusqu'au PK 58,7 pour la variante B. Ces limons classés A-4-8 (HRB) pour la plupart ont un CBR voisin de 10 ou supérieur qui varie assez peu en fonction de la compacité.

Du PK 55,2 au PK 62,7 (variante A) et du PK 58,7 au PK 67,4 (variante B), les remblais seront encore constitués des limons bordant le tracé. Les sols de quelques endroits argileux (sondage 2A), bien que n'étant pas trop compressibles pour supporter un remblai, ne peuvent que difficilement être utilisés en remblai à cause de leur plasticité.

Du PK 62,7 (variante A) et du PK 67,4 (variante B) à la route ROSSO/NOUAKCHOTT, les remblais seront constitués de sables de dunes. Les sols de la cuvette située entre les sommets S22 et S23 (sondage A28) sont assez compressibles, ce qui ne devrait pas poser de problèmes de stabilité sous remblai, mais nécessitera un complément d'étude des moyens à mettre en oeuvre pour la consolidation rapide de ces limons ou leur purge éventuelle.

6.1.2. Couche anti-capillaire

Elle sera nécessaire sur les digues étant donné que l'eau sera à 75 cm du sommet du remblai limoneux et aussi dans la zone OUALLO puisque la hauteur moyenne de remblai est faible (d'autant plus que l'on a à craindre l'hygroscopie des sols salés). La mesure de Kh sera faire en deuxième phase pour fixer les limites de nécessité de cette couche. Cette couche sera réalisée de préférence en sable de tound, sur une épaisseur de 15 cm.

On étudiera également en deuxième phase les possibilités d'extension du gisement du Khant pour envisager sur une partie des tracés une couche de fondation anti-capillaire ainsi constituée :

- . 20 % de coquillages 5 - 60
- . 80 % de sable de tounds.

La couche anti-capillaire sera donc nécessaire du PK 0 au PK 62,7 pour la variante A, jusqu'au PK 67,4 pour la variante B.

./.

6.1.3. Couche de fondation

Elle sera constituée de sables argileux. Les cubatures prélevées dans chaque zone d'emprunt figurent sur les linéaires géotechniques.

6.1.4. Couche de base

Elle sera constituée en fonction des distances au Khant des matériaux les plus avantageux financièrement, soit d'après le graphique de la page 13 (compte tenu de 17,85 Km de tracé C).

- . du PK 0 au PK 22,35 : tout-venant du Khant
- . du PK 22,35 au PK 75,90 : de 20 % de 5-60 coquiller
 - 77 % de sable local
 - 3 % de ciment

D'après ce graphique, la solution la plus économique pour utiliser le tout-venant de l'AFTOUT en couche de base consiste à l'utiliser du PK 26,65 au PK 43,25.

On peut envisager cependant de garder ces matériaux pour une solution de revêtement en enrobé dense conformément à ce qui est exposé au chapitre "dimensionnement".

6.1.5. Couche de roulement

Comme il l'est dit au chapitre "dimensionnement", trois solutions se présentent pour la couche de roulement :

- . enduit bicouche à base de coquillages du Khant : solution onéreuse, vu le rendement du banco-coquillage, qui ne peut être envisagée de toutes façons qu'après une étude des possibilités d'exploitation du gisement entier,
- . enduit bicouche à base de coquillages de l'AFTOUT : pour le moment, on ne peut tabler que sur du coquillage de la région de NOUAKCHOTT. La distance de transport ne semble pas prohibitive étant donné la qualité du matériau (sable coquiller) qui est de plus en plus riche du Delta vers NOUAKCHOTT et l'importance des gisements telle qu'elle ressort des prospections faites pour la route NOUAKCHOTT/ROSSO.
- . enrobé dense : cette solution a été envisagée pour tenir compte des matériaux inventoriés lors de cette étude afin de réduire les transports et d'augmenter le rendement des sites d'emprunts.

L'approche financière des coûts des différentes solutions devra être affinée en deuxième phase pour permettre une décision judicieuse.

On devra aussi étudier les possibilités et les rendements des installations des carrières actuellement en activité dans la région de NOUAKCHOTT pour comparer les différentes solutions de traitement.

6.2. TRACE B

6.2.1. Remblais

Du barrage au Tound BERET, la route empruntera les remblais de la digue de bouchure classés A-4-8 dont le CBR à 95 % de l'O.P.M. est voisin de 10 ou supérieur.

Sur le Tound BERET (PK 2 à PK 11,7), la plateforme sera constituée du sable du Tound (CBR allant de 15 à 20 à 95 % de l'O.P.M.). Entre les Tounds BERET et ZIRE (PK 11,7 à PK 16,6), le remblai sera limoneux et les sols-support ne devraient pas poser de problèmes, sauf au passage du BELL.

Certains sols ne pourront cependant pas être utilisés en remblais (LL > 40) à cause des difficultés qu'ils poseraient au compactage. Comme au passage des autres marigots, les sols rencontrés le long du BELL devront faire l'objet d'une étude précisant l'extension des sols les moins bons et l'opportunité d'un décapage ou d'un dispositif de consolidation.

Sur le Tound ZIRE (PK 16,6 à 24,0), la plateforme sera constituée du sable du Tound.

Du Tound ZIRE au tracé A (PK 24,0 à PK 38,5), le remblai sera limoneux. Les précautions sur les sols compressibles s'imposent au passage du TIAMBRAN .

Du tracé A à KEUR MACENE (PK 42,40 à 47,0) : remblai limoneux avec passage du DIALO (mêmes précautions).

A partir de KEUR MACENE (PK 47,0), la plateforme sera constituée des sables du TRARZA.

Certains passages de cuvettes inondables, notamment au PK 58 et au PK 66 (sondage B 27 et B 30) nécessiteront les études complémentaires des zones compressibles.

6.2.2. Couche anti-capillaire

Sous réserve des résultats d'essais de capillarité et de l'étude d'une couche de fondation anti-capillaire mentionnée au sujet du tracé A, on prévoit la réalisation d'une telle couche sur l'ensemble des remblais limoneux en zones inondables, soit :

- . du PK 0,0 au PK 2,0
- . du PK 11,7 au PK 16,6
- . du PK 24,0 au PK 47,0

Cette couche sera réalisée en sable de Tound de préférence, sur une épaisseur de 15 cm.

6.2.3. Couche de base

Conformément au graphique de la page 13 et compte tenu des 17,85 km de tracé C, elle sera réalisée :

- . du PK 0 au PK 15,55 de tout-venant du Khant
- . du PK 15,5 au PK 77,45 de
 - 3 % de ciment,
 - 77 % de sable local
 - 20 % de 5-60 coquiller

Du PK 72,55 au PK 77,45, le 5-60 coquillier de Nouakchott est plus intéressant que celui du Khant.

Le tout-venant de l'AFTOUT (EC-1) peut être économiquement utilisé du PK 29,4 au PK 46,0.

6.2.4. Couche de roulement

Mêmes possibilités que pour le tracé A.

6.3. TRACE C

6.3.1. Remblais

Les limons étant absents de cette zone, les remblais seront constitués de sables du Tound N'GUINOR et du massif dunaire de MAKHANA, à l'exception de la digue (PK 0,00 à PK 0,75) qui sera en limon A-4-8.

La traversée du DJEUSS ne devra pas en principe manifester de phénomènes de rupture sous charge, cependant on peut s'y attendre à des tassements très importants. En effet, plus de 5 m de sols compressibles surmontent le substratum sablo-coquiller.

Un atout dans la consolidation de ces sols est l'utilisation pendant 2 ans de la plateforme routière pour la circulation de chantier. Aussi, pour favoriser au maximum la consolidation pendant cette période serait-il souhaitable, étant donné le débit quasi-nul du DJEUSS de barrer celui-ci par un remblai en sable hors d'eau, au travers duquel on pourrait réaliser les puits de sable ou tranchées drainantes nécessaires à la consolidation rapide des argiles. A la suite de quoi, des buses seraient posées pour rétablir l'équilibre hydraulique et sur ces buses serait monté le remblai de chargement.

6.3.2. Couche anti-capillaire

Il y aura lieu de la réaliser uniquement sur les 750 mètres de digue qui prolongent le barrage. Elle sera réalisée en sable de la bordure occidentale du Tound N'GUINOR.

6.3.3. Couche de fondation

Elle sera réalisée en sables argileux des emprunts E1 et E2 sur une épaisseur de 25 cm.

6.3.4. Couche de base

Elle sera réalisée en tout-venant sélectionné du Khant sur une épaisseur de 25 cm.

6.3.5. Couche de roulement

On adoptera l'une des solutions prévues au chapitre dimensionnement.

