

LES CHAUSSEES AEROPORTUAIRES

VALORISATION D'UN MATERIAU LOCAL

CAS DE L'AEROPORT DE NOUAKCHOTT

par Mohamed ALLALI
Directeur des Bases Aériennes

Présentation

L'ingénieur chargé de la réalisation d'un ouvrage en génie civil, se préoccupe à un stade donné de son étude, des spécifications des matériaux à mettre en œuvre, des lieux de leur extraction et des coûts de leur acheminement. Une telle préoccupation débouche généralement sur des solutions satisfaisantes quand l'ouvrage projeté se trouve implanté dans une région riche en carrières et dotée de moyens de transport suffisants. En revanche il en va autrement dans le cas contraire et le recours aux matériaux locaux, c'est à dire situés à proximité du futur chantier, peut être économiquement envisagé, moyennant des traitements appropriés destinés à en améliorer les caractéristiques. Tel fut le choix adopté par la Direction des Bases Aériennes, en 1979 pour exécuter des travaux d'aménagement de l'Aéroport de NOUAKCHOTT et qui est développé dans la présente communication.

Celle-ci, de par l'ouvrage traité, peut surprendre dans un congrès consacré à la route. Cependant les Ingénieurs tant du secteur public que du secteur privé, ont en général à exécuter au cours de leur carrière à l'aide du personnel, des matériels et des matériaux identiques des infrastructures de l'un et de l'autre type. Il a paru alors digne d'intérêt que l'on rappelle dans une première partie les caractéristiques générales des plateformes aéronautiques, que l'on décrive la nature de leurs chaussées par référence aux chaussées routières avant d'aborder dans la seconde partie les travaux d'extension et de renforcement des aires de mouvements de l'Aéroport de NOUAKCHOTT réalisés à l'aide d'un tout-venant coquillé.

LE TRANSPORT AERIEN

Quelques Aspects du Secteur

Le transport aérien est d'abord et avant tout un mode de transport comme les autres, parmi les autres, il est un moyen de déplacer d'un point à un autre des biens et des personnes, en offrant certaines caractéristiques de délai ou de coût d'acheminement qui permettent aux intéressés de choisir les services aériens parmi d'autres modes de transport possibles. Comme les autres modes de transport, il est soumis à des variations du niveau de la demande qui rendent redoutables le traitement des problèmes de pointes. Comme les autres modes de transport, il est caractérisé par l'existence de productions non stockables et par conséquent, par la perte irrémédiable des excès de capacité mis en œuvre. Enfin et comme les autres modes de transport, le transport aérien est indissolublement lié à l'activité économique générale, dont il est à la fois une composante et une conséquence.

Mais ces caractéristiques générales n'excluent pas cependant un certain nombre de spécificités donnant au transport aérien son originalité et son intérêt.

D'abord, bien entendu, sa relative jeunesse et son développement rapide et spectaculaire. Le transport aérien sous sa forme industrielle actuelle, est né il y a juste une quarantaine d'années, après la dernière guerre mondiale. A cette jeunesse sont associés un développement technologique très rapide et très brillant et des progrès considérables de productivité qui ont réduit le prix de transport de façon spectaculaire.

Un second trait original est le caractère ponctuel de l'infrastructure qu'il utilise et la possibilité considérable de souplesse qui en résulte dans le développement des réseaux.

Il se trouve en outre que cette infrastructure est très peu coûteuse et que par conséquent le transport aérien en dépit du prix élevé des aéronefs se révèle un instrument globalement économique d'aménagement d'espace.

Enfin le transport aérien est caractérisé par une activité très largement internationale qui conduit les Etats à jouer un rôle essentiel et les amène à intervenir largement dans la gestion de l'ensemble du système.

Cette activité aux apparences très brillante est également très fragile. Elle est particulièrement sensible aux aléas de la conjoncture dans la mesure où plus de la moitié du trafic international étant du trafic pour motifs personnels ou touristique, toute réduction dans le revenu disponible des ménages a une influence immédiate sur le niveau du transport aérien. Elle a le plus grand mal

à maîtriser les problèmes économiques qui se posent à elle car les intérêts en présence sont à ce point contradictoires qu'il est difficile de trouver une solution qui reçoive l'agrément de tous.

L'importance de ce mode de transport pourrait être appréciée par les données suivantes relatives à l'année 1982. Le chiffre d'affaire du secteur a été de 520 milliards de dirhams correspondant au traitement de :

- 755 millions de passagers ou 1.144 milliards de passagers x km.
- 12 millions de tonnes de frêts ou 35 milliards de tonnes x km transportés par 150 compagnies aériennes, moyennant une flotte de 8.950 avions commerciaux et transitant par 33.150 aéroports.

Sur le plan de la sécurité et durant la même période le nombre d'accidents d'avions enregistrés a été de 23 ayant fait 732 victimes et correspondant à un taux de 0,27 accidents mortels pour 100 millions de kilomètres parcourus ou 0,17 accidents mortels pour 100 mille heures de vol.

Cela étant et pour nous limiter à la sphère nationale le transport aérien est devenu une partie tellement évidente des activités économiques de notre pays que son avenir est bien assuré. Service Public, il a été un instrument efficace dans la politique de récupération de nos Provinces Sahariennes, dont il assure quotidiennement le désenclavement.

En 1982, le secteur s'est caractérisé par un chiffre d'affaires de l'ordre de 2.800 millions de dirhams, et par des trafics de :

- 3,5 millions de passagers ou 7.250 millions de passagers x km
- 33.000 tonnes de fret ou 65 millions de tonnes x km transportés par 22 compagnies commerciales et transitant par 13 aéroports.

Après ces considérations d'ordre général, il serait opportun d'exposer le sujet de la présente communication qui peut surprendre dans un congrès consacré à la route. Cependant les Ingénieurs tant du secteur public que du secteur privé, ont en général à exécuter au cours de leur carrière à l'aide du personnel, des matériels et des matériaux identiques des infrastructures de l'un et de l'autre type. Il est alors utile que l'on évoque les caractéristiques générales des plateformes aéroportuaires, que l'on examine la nature de leurs chaussées par référence aux chaussées routières et que l'on présente le cas particulier des travaux d'extension et de renforcement des aires de mouvements de l'Aéroport de NOUAKCHOTT où l'absence de matériaux classiques a amené le maître d'œuvre à valoriser un matériau local.

II• Les Aéroports

Aires de mouvements et chaussées

L'aérodrome est un ensemble destiné à recevoir des avions. Cet ensemble pourrait comporter des installations techniques nécessaires à permettre le mouvement des aéronefs, installations qui peuvent être enéxistantes dans certains cas. Si cet ensemble est complété par des installations destinées à recevoir un trafic commercial, l'Aérodrome devient un Aéroport. En d'autres termes, l'aéroport est un complexe comprenant.

- l'aire de mouvement
- les installations commerciales
- les installations techniques.

Les aéroports sont classés en quatre catégories :

- Catégorie A : Aéroport disposant d'une piste de plus 2.100 m de longueur réservé au transport régulier à grande distance.
- Catégorie B : Aéroport ayant une piste dont la longueur est comprise 1.500 et 2.100 m pour le transport à moyenne et petite distance.
- Catégorie C : Aéroport dont la longueur de piste est comprise en 900 m et 1.500 m pour le transport à la demande.
- Catégorie D : Aéroport dont la longueur de piste est inférieure à 900 m pour les vols d'entraînement et de tourisme.

Le Maroc dispose actuellement de 32 plateformes aéronautiques dont 9 sont de catégorie A, c'est-à-dire ouvertes au trafic international, 10 réservées au trafic domestique et 13 réservées à des activités diverses telles que les interventions agricoles, les aéro-clubs etc...

—Aéroports disposant d'une piste construite

Aéroport	Longueur et Largeur de la piste (en m)	Capacité de l'aire de stationnement
Casablanca- Mohamed V	3 720 × 45	14 postes
Tanger	3 500 × 45	5 postes
Rabat-Salé	3 500 × 45	3 postes
Marrakech	3 100 × 45	4 postes
Fès	3 200 × 45	4 postes
Oujda	3 000 × 45	4 postes
Agadir	2 910 × 50	5 postes
Al-Hoceima	2 160 × 45	2 postes
Laayoune	3 000 × 45	4 postes
Eddakhla	3 000 × 45	2 postes
Ouarzazate	3 000 × 45	2 postes
Tétouan	1 700 × 60	3 postes
Tan-Tan	2 000 × 45	3 postes
Ifrane	2 100 × 15	2 postes
Casablanca- Anfa	2 100 × 45	5 postes
Errachidia	3 000 × 45	2 postes
Smara	3 000 × 33	2 postes
Goulimine	3 000 × 45	2 postes
Nador	1 200 × 45	2 postes

A—Aires de mouvement

Les aires de mouvement sont les parties d'un aéroport utilisées pour les décollage, les atterrissages et les évolutions des aéronefs à la surface. Elles se composent de pistes, de voies de circulation, de plateformes d'attente de circulation et d'aires de trafic.

1—Pistes

1.1. Généralités

Une piste est une aire rectangulaire, sur un aéroport terrestre aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs. Elle s'identifie par sa longueur qui varie de 750 à 3.800 m.

Elle est, encadrée par des bandes, appelées « bandes de piste » destinées à éviter tout dommage matériel à un avion qui sortirait de sa trajectoire, et à assurer la protection des avions qui survolent cette aire lors des manœuvres de décollage ou d'atterrissage. Un prolongement d'arrêt, de même structure qu'une piste, est toujours prévu à l'extrémité de piste au sens du décollage, afin de pallier à une distance accélération-arrêt des avions critiques insuffisante.

1.2. Caractéristiques physiques des pistes

Les paramètres de dimensionnement géométrique sont au nombre de 5 :

a) Les conditions météorologiques, qui interviennent par :

- **Le vent**, dont les intensités et les directions déterminent le nombre et les directions des pistes.
- **La température**, une augmentation de 1 % de la longueur de piste est à prévoir par degré C de dépassement de la température de référence du site de l'aéroport sur la température en atmosphère type de l'aéroport.

B) Les conditions topographiques, qui interviennent par :

- **Les obstacles naturels qui**, de par leur présence aux abords de l'aéroport, entravent l'évolution normale des aéronefs et perturbent les communications ainsi que les transmissions des signaux radio pour les approches aux instruments.
- **L'altitude**, une augmentation de 7 % de la longueur de piste est à prévoir par tranche de 300 m d'altitude de l'Aérodrome.

c) Les conditions écologiques, qui interviennent par :

- **Le bruit**, qui constitue la nuisance essentielle pour les riverains surtout ceux installés immédiatement en dessous et au voisinage des trajectoires d'approche et de départ ; il est caractérisé par l'amplitude, la fréquence et la durée.

d) La géométrie de la surface le roulement, qui intervient par :

- **La pente**, la longueur de la piste doit être augmentée de 10 % par tranche de 1 % de pente longitudinale.
- **L'état de surface**, et il entendu par là, tous les paramètres (humidité, ensoleillement, rugosité...) entrant dans la détermination du taux de glissance et du coefficient de frottement longitudinal qui, affectent les vitesses des avions aux sols et par là, la longueur de piste.

e) Performances des avions

Les performances sont essentiellement, les vitesses caractéristiques des avions pour lesquelles la piste a été dimensionnée, les vitesses sont données par le constructeur et sont :

- La vitesse de décision
- La vitesses de montée initiales
- La vitesse de cabrage
- La vitesse de décollage

Les vitesses sont évidemment corrigées par les poids des avions au décollage et à l'atterrissage.

1.3. Dimensions géométriques normatives

Elles dépendent essentiellement des classes d'aéroports considérés.

Ainsi pour les pistes, et pour un aéroport de classe A la longueur de base est de 2.100 m et peut atteindre avec les diverses corrections 3.800 m, la longueur est de 45 m, et la pente longitudinal maximale est de 1,25 %.

Quant à la pente transversale, elle doit être inférieure à 1,5 % qu'elle soit continue ou dans le cas d'une surface bombée.

Les changements de pente longitudinale sont limités à 3 % le kilomètre avec un rayon de courbure minimal de 30.000 m, ceux de la pente transversale sont quasiment prohibés.

La structure de chaussée des infrastructures connexes de piste, à l'exception du prolongement d'arrêt où elle est identique à celle d'une piste, doit présenter une surface dégagée et nivelée le mieux possible avec des pentes comparables à celle des pistes.

2—Voies de circulation

Ce sont des voies terrestres aménagées pour la sécurité et la rapidité des mouvements des aéronefs au sol. Elles sont conçues de manière à accélérer le mouvement des avions à destination et en provenance des pistes.

2.1. Classifications

Les voies de circulation sont au nombre de 3 :

- a) Les taxiways ou voies parallèles sont de voies de circulation parallèle à la piste, de même structure et d'une largeur de 23 m au maximum destinées à éviter l'encombrement des pistes par roulage au sol des avions.
- b) Les bretelles ou voies de circulation transversales qui constituent des liaisons entre la piste, les voies de circulation et des aires de trafic.
- c) Les voies de sortie rapide ou de dégagement rapide, qui sont aménagées dans les aéroports à trafic très dense.

2.2. Dimensions

La largeur des voies de circulation est généralement de 23 m à l'exception des courbes de faible rayon qui doivent être impérativement dotées de surlargeur, à cause des contraintes de contrôle de l'avion au pilotage.

La conception des virages des voies de circulation, des jonctions, des intersections, et des raccordements est soumise à des contraintes de pente et de dimensionnement rigoureuses, afin de permettre une manœuvre aisée aux pilotes, et d'éviter les dégradations des pneumatiques en sauvegardant une marge minimale de 1,5 m entre les roues et les bords des voies de circulation.

Les spécifications de pente et de changement de pente pour les voies de circulation et leurs infrastructures connexes sont comparables à celles des pistes car elles sont sujet aux mêmes contraintes d'uni, d'étanchéité et de drainage.

3—Aires d'attente de circulation

Ce sont des voies de circulation supplémentaire généralement situées à proximité du seuil préférentiel de décollage, à une distance minimale de 75 m.

Elles permettent le stationnement d'un avion dont l'espace aérien n'est pas libre ou ne pouvant pas décoller dans l'immédiat. Ces aires sont également utilisées pour procéder à des vérifications au sol.

Une aire d'attente de circulation est constituée soit par un doublement, soit par un élargissement de la bretelle.

Elle doit être dimensionnée à partir du nombre de postes de stationnement, des dimensions des aéronefs et de la fréquence d'utilisation afin de répondre aux impératifs d'une voie de circulation et d'une aire de stationnement.

4—Aires de stationnement

Ce sont des aires aménagées sur un aéroport destinées au stationnement des aéronefs lors des opérations d'embarquement et de débarquement des passagers, de fret, de l'avitaillement en carburant, de préparation des vols, d'entretien et de garage.

Elles sont disposées à proximité de l'aérogare, du bâtiment frêt, et des ateliers.

La structure des chaussées des aires de stationnement est comparable à celle des chaussées de piste, avec cependant une résistance au poinçonnement plus élevée due aux sollicitations statiques prolongées.

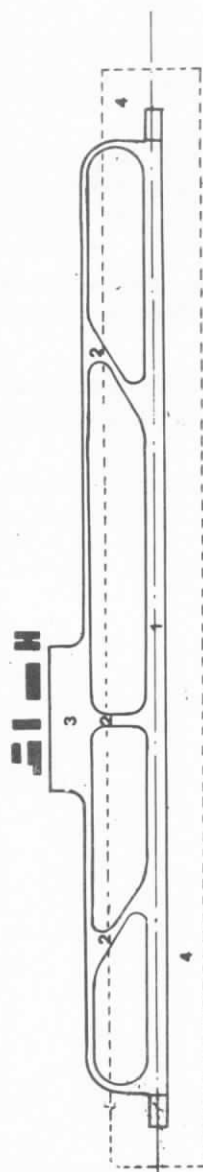
En outre, dans le cas de structure souple, elles doivent bénéficier d'une protection contre les dégradations dues au déversement des hydrocarbures.

Les dimensions géométriques dépendent de la densité du trafic, de l'envergure des avions fréquentant l'aéroport et de leur mode de stationnement.

Un poste de stationnement d'un boeing 747, par exemple nécessite une surface de 6.800 m² en position « nose in », c'est à dire face à la zone terminale.

légende

- ① PISTE D'ENVOL
- ② VOIE DE CIRCULATION
- ③ AIRE DE STATIONNEMENT
- ④ BANDE



B—Chaussées Aéroportuaires

1—Généralités

Les chaussées aéroportuaires à l'instar des chaussées routières, sont des chaussées souples, rigides ou composées.

Elles ont le même mode de fonctionnement tant du point de vue réponse aux sollicitations que répartition des charges.

Cependant, les méthodes de dimensionnement des deux types de chaussées diffèrent au niveau de la conception. En effet les chaussées routières sont dimensionnées généralement pour un essieu type et supposées périr uniquement par usure, alors que les chaussées aéroportuaires sont dimensionnées pour tous les types d'attérisseurs d'avions devant fréquenter l'aéroport et périssent par fatigue.

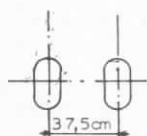
2—Dimensionnement

Le dimensionnement d'une chaussée aéroportuaire nécessite la connaissance de la charge maximale que cette chaussée est amenée à supporter en service. Cette charge maximale est elle même fonction des caractéristiques des types d'appareils attendus et de leur fréquence. Elle intervient sous forme d'une charge par attérisseur déterminée forfaitairement à partir du poids total de l'aéronef en supposant que 6 % environ de ce poids sont supportés par l'attérisseur avant :

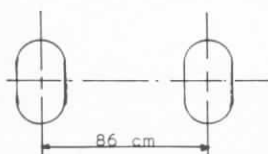
On distingue trois catégories principales d'attérisseurs :

- Attérisseurs à roue simple
exemple le DOUGLAS DC3
- Attérisseurs à roues jumelées (DIABOLO)
exemple le BOEING 727 ou B 727
- Attérisseur à bogue (Tandem de Diabolo)
exemple le BOEING 747 ou B 747

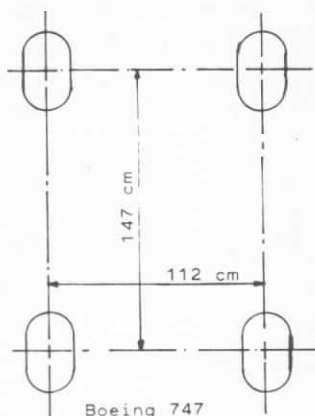
Charges et configuration des atterrisseurs
d'avion comparés à un essieu



poids lourds
poids: 6,5t essieu



Boeing 727
poids : 39t Atterrisseur type diabolé



Boeing 747
poids : 86t Atterrisseur
type boggie

Tableau 1 Différence entre véhicules routiers et avions

	VEHICULES ROUTIERS		AVION LEGER	AVIATION COMMERCIALE		
	V.L	P.L		COURTS COURRIERS	MOYENS COURRIERS	LONGS COURRIERS
MASSE TOTALE (tonne)	1.2	30	0.9	20-50	50-150	150-370
CHARGE PAR ROUE (tonne)	0.3	3.25	0.4	5-12	12-18	18-22
PRESSION DES PNEUS (M.P.a)	0.2	0.7	0.15	0.6-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4
AIRE DE CONTACT PNEU REVETEMENT (m ²)	0.015	0.046	0.027	0.08-0.15	0.11-0.15	0.14-0.18
VITESSE MAXIMALE DE ROULAGE (km/h)	130	100	90	150-180	200-250	250-280

Tableau 2. Charges significatives d'avions commerciaux courants

TYPES D'AVION	FOKKER 28	B 727	B 737	B 747
Masse à vide équipée	15	44	28	175
Masse maximale au décollage	25,7	84	50	372
Masse maximale à l'atterrissage	24,4	70	47	286

TABLEAU: A

La méthode de choix des charges admissibles généralement adoptée consiste à introduire des atterrisseurs, type présentant les caractéristiques les plus sévères parmi celles d'avions en service ou en projet. Ces caractéristiques sont la pression des pneumatiques et l'empattement des zones.

Connaissant les avions qui devront fréquenter l'aérodrome, et donc les charges admissibles par atterrisseur type on peut déterminer à partir :

- du C.B.R. du sol de fondation l'épaisseur équivalente d'une chaussée souple.
- du module de réaction du sol de fondation l'épaisseur de la dalle du béton pour une chaussée rigide après avoir fixé au préalable la contrainte de traction par flexion admissible du béton.

Ces calculs à partir d'abaques sont valables pour un trafic « normal » c'est à dire un trafic constitué de 10 mouvements par jour de l'aéronef produisant la charge de calcul, la durée de vie de la chaussée étant alors escomptée à un minimum de 10 ans.

Divers facteurs correctifs normalisés interviennent dans le calcul des épaisseurs de chaussées dans le cas de :

- dépassement du nombre de mouvements journaliers
- dépassement de la charge admissible par type d'avions fréquentant l'aérodrome.

Ces facteurs émanent du fait de l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des sollicitations d'une chaussée, et le nombre de cas de charges admissibles, ou la durée de vie. Cette courbe, appelée courbe de fatigue, varie en fonction de la chaussée étudiée et admet généralement un palier pour les charges faibles inférieures à la limite de fatigue.

D'autres méthodes basées sur le même principe sont utilisées pour le dimensionnement. Ainsi l'usage aux Etats Unis d'Amérique consiste à convertir toutes les données relatives au trafic, en trafic équivalent d'un avion critique, qui est généralement l'avion à atterrisseur type diabolos le plus chargé.

Cette conversion des mouvements annuels de divers aéronefs en avion critique se fait par le biais :

- d'une correction due au type d'atterrisseur ; il est ainsi affecté un coefficient de 0,8 à la roue simple, 1,7 à l'atterrisseur à boggie (simple ou double) si le coefficient 1 est affecté à l'atterrisseur à roues jumelées.
- et d'une correction due à la charge par roue de l'avion considéré par rapport à celle par roue de l'avion critique.

Ce calcul est établi sur la total annuel de 1.200 mouvements pour les chaussées souples et 6.000 pour les chaussées rigides, des corrections forfaitaires d'épaisseurs des différentes couches constitutives de la chaussée intervenant au delà de ces seuils, en corrélation avec les renforcements prévisibles.

3—Comparaison entre les chaussées routières et aéroportuaires

3.1. Charges

Les avions appliquent leur charge à la chaussée par l'intermédiaire d'un train d'atterrissage composé d'atterrisseurs. La charge par atterrisseur et la pression des pneumatiques sont très variées et plus élevées pour les avions que sur les routes.

Ainsi la charge sous une roue de boggie d'un avion gros porteur peut atteindre le double de celle sous une roue d'un véhicule routier type poids lourd.

Le tableau A récapitule les différentes caractéristiques des avions courants comparées à celles des véhicules routiers.

La vitesse d'impact de ces charges est celle de roulage des avions au sol, elle est également beaucoup plus élevée que pour les routes.

3.2. Comparaison des caractéristiques dimensionnelles (mécaniques).

3.2.1. Rigidité

En égard à ces différences de charges, les chaussées souples d'aéroports sont moins rigides que les chaussées routières, c'est à dire que le sol travaille davantage sous les chaussées d'aéroports que sous les routes et que ces chaussées sont construites en vue d'une meilleure adaptabilité aux déflexions.

Par conséquent, les sujétions de conception -superposition de couches à rigidité progressive- sont plus onéreuses, et de mise en œuvre plus contraignantes pour les ouvrages aéroportuaires.

Pour les chaussées rigides, le problème des battements de dalles, cause de fissurations d'angle, d'épaufrures et de remontées de fines par pompage, est permanent. Et l'on y remédie par des injections sous dalles, par un drainage complet des eaux souterraines, et par une reprise fréquente de l'obturation des joints.

3.2.2. Géométrie des atterrisseurs

L'espacement entre les atterrisseurs est très variable et peut causer des dégâts aux chaussées rigides quand il dépasse la largeur d'une dalle, tel le cas d'un B 747 dont l'espacement entre atterrisseurs arrières est de 11 m et qui évolue sur une piste à chaussée rigide dont la largeur de dalle est « normale » de 5 à 7 m.

En effet, ces atterrisseurs exercent des sollicitations « à cheval » sur les joints de construction longitudinaux et peuvent perturber le système de transfert de charges tant pour les joints à fissure et languette en accentuant l'épaisseur de la fissure, que pour les joints à tenons et mortaise en provoquant un début de cassure aux mortaises. Seuls les joints à gougeons permettent une reprise normale des efforts et une distribution continue des déformations.

3.2.3. Recouvrement de charge (fatigue)

Une chaussée aéroportuaire est dimensionnée, rappelons le, pour une durée la vie de 10 ans avec un trafic journalier de 10 mouvements. Mais du fait de la largeur des pistes, le trafic aérien se répartit sur une bande axiale de 20 à 25 m, et le nombre d'applications de charge s'en trouve réduit de plus des deux tiers. Le nombre de chargements de calcul est donc égal à 10.000 pour toute la durée de vie de la chaussée, alors qu'il est de 10^6 pour les routes.

IL s'ensuit, que les chaussées aéronautiques périssent surtout par fatigue et à cause des dégradations de grandes amplitudes, alors que les chaussées routières soumises à un grand nombre de sollicitations mais d'intensités inférieures à la limite de fatigue, périssent plutôt par vieillissement, les liants devenant rigides et cassants, et par la dispersion des déformations dans le corps de chaussée.

3.3. Comparaison des qualités structurelles

3.3.1. Etanchéité

De par leur étendue et leur planéité, les surfaces revêtues des aéroports, requièrent une surface de roulement parfaitement étanche afin d'enrayer l'infiltration des eaux pluviales dans le corps de chaussée.

Le drainage de ces eaux nécessite la mise en place de caniveaux latéraux tout le long des pistes, et une jonction parfaite des pentes des différentes installations connexes pour leur collecte.

Des drains verticaux sont parfois disposés en bord de piste pour collecter les eaux saturant les terrains de fondation et empêcher leur remontée dans les corps de chaussées souples. Pour les chaussées rigides, ce procédé est systématiquement utilisé pour éviter de compromettre l'étanchéité des joints.

Par contre, la géométrie du profil en travers des chaussées routières facilite l'écoulement rapide des eaux de ruissellement, et ne nécessite pas en général de sujétions particulières de drainage.

3.3.2. Vieillessement

De par l'humidité, et surtout l'ensoleillement, les enrobés en couche de roulement vieillissent. Cet effet se manifeste par un dur-

cissement des liants, une tendance au faïençage et un désenrobage des agrégats.

Cette action des agents atmosphériques, est moins contraignante pour les routes car elles subissent un ramollissement en surface dû aux huiles et aux gaz d'échappement des véhicules, et la fermeture du revêtement est assurée régulièrement par la circulation.

Par conséquent, le renouvellement des couches de roulement des chaussées aéroportuaires à structure souple est plus fréquent ; tandis que pour les chaussées à structure rigide, le remplacement des joints doit s'opérer tous les 3 à 5 ans.

3.4. Comparaison des caractéristiques fonctionnelles

3.4.1. Intégrité de la surface

Sous l'influence du trafic et du climat, les chaussées se dégradent et présentent des déformations : fissures, faïençage, défauts superficiels, désenrobage, écaillage, etc... Et ces dégradations entraînent toujours la désintégration de la couche de surface qui se traduit par des arrachements de matériaux qui peuvent devenir « volants », par analogie aux granulats « roulants » sur les routes.

Ceux ci peuvent être ingérés par les réacteurs ou projetés sur les structures par les hélices, et gêner considérablement les manœuvres de pilotage où à la limite endommager sérieusement le matériel.

Par conséquent, la surveillance et l'entretien des pistes, doivent être assurés avec une plus grande vigilance que sur les routes. Les travaux de colmatage des dégradations doivent être réalisés sans retard, et il est pratiquement prohibé de rénover la surface de roulement à l'aide d'enduit superficiel, sauf après étude particulière autorisant le rejet des granulats.

3.4.2. Uni du profil en long :

Les vitesses de décollage et d'atterrissage des avions, étant de l'ordre de 200 à 250 km/h, le moindre défaut d'uni sur une chaussée aéroportuaire peut engendrer des vibrations dans le cellule ou des éclatements de pneumatiques. Par ailleurs, un défaut d'uni répété de manière périodique même à une très grande longueur d'ondes, risque d'engendrer une résonance avec les systèmes de suspension des trains d'atterrissage des avions.

Les sujétions de qualité de l'uni du profil en long des chaussées aéroportuaires sont donc beaucoup plus contraignantes que celles d'une chaussée routière où il est possible de limiter la vitesse de circulation.

Par conséquent, les ouvrages de franchissement de chaussées doivent être traités avec davantage de soins sur les aérodromes

que sur les routes, par aménagement de plaque-forme très stable, non susceptible de tassement ou de consolidation aléatoire.

3.4.3. Glissance :

Les contraintes particulière dues à la glissance pour les chaussées aéroportuaires résident essentiellement dans les vitesses à l'atterrissage et au décollage des avions, les masses déplacées et des pressions des pneumatiques qui sont très élevées, ainsi que dans l'absence de stries dans la géométrie des pneumatiques.

Il convient par conséquent comme sur les routes d'éviter la stagnation des eaux de pluie, d'où des tolérances de nivellement très restrictives, et de viser une bonne rugosité des revêtements lors de la mise en œuvre.

C—Auscultation et suivi des chaussées aéroportuaires

1—Généralités

L'auscultation des chaussées aéroportuaires, au même titre que les chaussées routières, est nécessaire à l'évaluation de leur « état » et par la même, à l'établissement de tout programme de reconstruction, de renforcement et de reprofilage, voire uniquement d'entretien courant.

Cet état de chaussée est paramétré principalement par la force portante de la structure, les qualités du profil en long et les qualités antidérapantes de la surface de roulement.

2—Procédés d'auscultation

2.1. Méthodologie

L'auscultation d'une chaussée d'aéroport ou d'un tronçon routier comporte en principe les étapes suivantes :

a) Une phase préliminaire ; qui doit inclure une étude du site, du climat, du système de drainage, d'un classement des chaussées en zones homogènes du point de vue structurel grâce à leur historique et du point de vue état de surface par le biais d'un relevé visuel des dégradations.

b) Une phase d'essais ; qui comprend :

- des essais de chargement de plaque qui sont destructifs ou non et qui permettent de déterminer des plages homogènes de portance des chaussées étudiées.
- des essais de mesures de déflexions sous charge roulante pour évaluer la déformabilité ou les dégradations du profil en long.
- des essais de mesures de la glissance de la surface de roulement.

c) Phase d'essais complémentaires

Pour compléter les données de deux premières phases, des essais complémentaires peuvent être réalisés tels des sondages pratiqués dans le corps de chaussée et des contrôles des caractéristiques géotechniques des couches le constituant.

2.2. Comparaison de moyens d'auscultation

Le tableau ci-contre, récapitule de manière comparative les principaux procédés d'auscultation des deux types de chaussées, et on remarque que leurs caractéristiques sont inhérentes aux charges et aux vitesses des sollicitations relatives à chaque type de chaussée.

CHAUSSEES ESSAIS	CHAUSSEES AEROPORTUAIRES	CHAUSSEES ROUTIERES
PORTANCE	- Essai de chargement de plaque (essai destructif). Il consiste à appliquer des charges croissantes jusqu'à soit la rupture de la chaussée soit l'atteinte d'une déflexion permanente maximale. - Essai de mesure de deflexion sous charge statique. (Matériel Remorque de portance STBA). Il consiste à déterminer les déflexions produites par l'application de dix/des chargement d'une charge d'essai donnée, et d'en déduire par extrapolation la déflexion au bout de Dix Mille cycles de chargements, durée de vie escomptée de la chaussée. La portance de la chaussée est la charge d'essai provoquant 5mm de déflexion pour une chaussée souple. 2,5mm de déflexion pour une chaussée rigide. c'est un essai non destructif. - Essai de mesure de la déflexion sous charge dynamique. (Matériel : Influgraphe) Le matériel utilisé est comparable au deflectographe LACROIX et se base sur le même principe. Cependant, la charge d'essai est adaptée aux chaussées aéroportuaires.	Essai de mesure de déflexion sous charge dynamique. Le matériel utilisé est le deflectographe LA CROIX, et il permet de mesurer les, déflexions provoquées par la circulation sur la chaussée d'une charge équivalente à celle des véhicules routiers. La valeur résiduelle de la chaussée (donc la portance) est déduite à partir de ces mesures par comparaison avec celles produites par un trafic type dans la classification des structures des chaussées routières. Ce procédé, utilisé pour les chaussées aéroportuaires permet, uniquement la délimitation de zones homogènes de portance vu la différence entre les charges d'essai.

ESSAIS	CHAUSSÉES AÉROPORTUAIRES	CHAUSSÉES ROUTIÈRES
	Tant du point de vue géométrie des atterrisseurs (jumelage de l'avion mercure) que de la charge appliquée (25 T).	
GLISSANCE	Mesure du coefficient de frottement longitudinal. (Matériel : Stradographe) STBA Ce matériel permet la mesure du coefficient de frottement longitudinal roue chaussée pour des vitesses importantes (140 Km/h) de circulation et l'extrapolation aux vitesses réelles des aéronefs. Il permet également la mesure de ce coefficient pour une chaussée humide grâce à un appareil incorporé d'auto-mouillage.	Essai de profondeur de sable: Consiste à mesurer le volume de sable qui recouvrirait totalement une surface de 1 m² de chaussée. Egalement utilisé pour les chaussées aéroportuaires, mais les critères diffèrent vu les vitesses des avions. Remorque LCPC.
UNI	L'évaluation de l'uni des deux types de chaussées peut être réalisé par un matériel tel l'analyseur du profil en long (LCPC). Toutes les gammes de longueur d'ondes des défauts <u>peut</u> être couverte.	

III• Valorisation de matériaux locaux cas de l'aéroport de nouakchott

A—Description des ouvrages, Structures

1—Descriptions des ouvrages

Dans le cadre de la coopération entre le Royaume du Maroc et la République Islamique de Mauritanie, le Direction des Bases Aériennes avait été chargé en 1977-1978 de travaux de renforcement et d'extention de l'aire de mouvement de l'Aéroport international de Nouakchott.

Ces travaux comportaient :

- Le renforcement de la piste existante et son allongement du coté Nord-Est d'une longueur de 1.000 m
- L'aménagement à chaque extrémité de piste d'un prolongement d'arrêt de 100 mètres et d'une raquette de retournement.
- Le renforcement de la bretelle existante et son élargissement de 3 m.
- Le renforcement de l'aire de stationnement existante et son extention de 5.040 m².

L'Aéroport se trouvait donc doté d'une piste d'envol de 3.000 m de large ayant à chacune de ses extrémités une raquette de retournement et un prolongement d'arrêt de 100 m, d'une aire de stationnement de 20.700 m² et d'une bretelle de liaison de 180 m de long et 23 m de large.

On trouvera en annexe un plan schématisant l'ensemble de ces travaux et les différentes structures de chaussées réalisées.

Cette entreprise a nécessité la mise en œuvre de 13.200 m³ : de grave coquillée 0/31,5 pour la couche de fondation.

22.300 m³ : de grave coquillée 0/20 améliorée au bitume pour la couche de base.

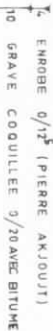
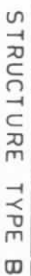
9.200 m³ : d'enrobé 0/125 à partir de gravillons coquillés concassés, améliorés ou non par la pierre d'Akjoujt concassée pour la couche de liaison et la couche de roulement.

L'ensemble de ces matériaux avait fait l'objet de plus de 400 granulométries, 130 extractions, 500 éprouvettes Marshall 220 densités in situ ainsi que de nombreux autres essais.

2—Structures des chaussées

Les structures de chaussée différentes de par leur constitution ou épaisseurs ainsi que leur localisation sont indiquées sur le plan ci-joint.

ECHELLE 1 / 15000



1—Tout-venant 0/31,5 coquille

Ce matériau pour couche de fondation est un **tout-venant coquiller brut**, prélevé aux emprunts situés à proximité du chantier.

Le fuseau statistique de probabilité 95 % ($m \pm \sigma$) représentatif de la granularité des tout-venants coquiller employés pour la réalisation de la couche de fondation, issu de 22 contrôles, a donné les résultats suivants :

Tamis	40mm	31,5	25	20	16	12,5	10	8	5	2,5
Moyenne	98 %	93 %	83 %	74%	70 %	66,5	63%	58,5	46,5	29,5
Ecart-type	2,5%	5 %	5,7%	7,4%	8%	8,6%	8,6	7,9%	8%	8,3%

Le matériau utilisé présente une graduation assez irrégulière, avec bosse de sable et pallier entre 0,4 et 4 mm ; il s'inscrit en grande partie dans le fuseau A.A.S.H.O. 0/50.

L'équivalent de sable moyen obtenu sur 14 valeurs est de 30. L'écart type obtenu étant de 3,5, on peut estimer que 95 % du tout-venant coquiller 0/30⁵ utilisé a présenté un équivalent de sable compris entre la moyenne plus ou moins deux écarts type soit entre 23 et 37. Les valeurs contractuelles exigées étant comprises entre 25 et 50, les résultats obtenus pour la propreté sont donc, dans l'ensemble, en accord avec les prescriptions.

2—Matériaux coquilles cribles

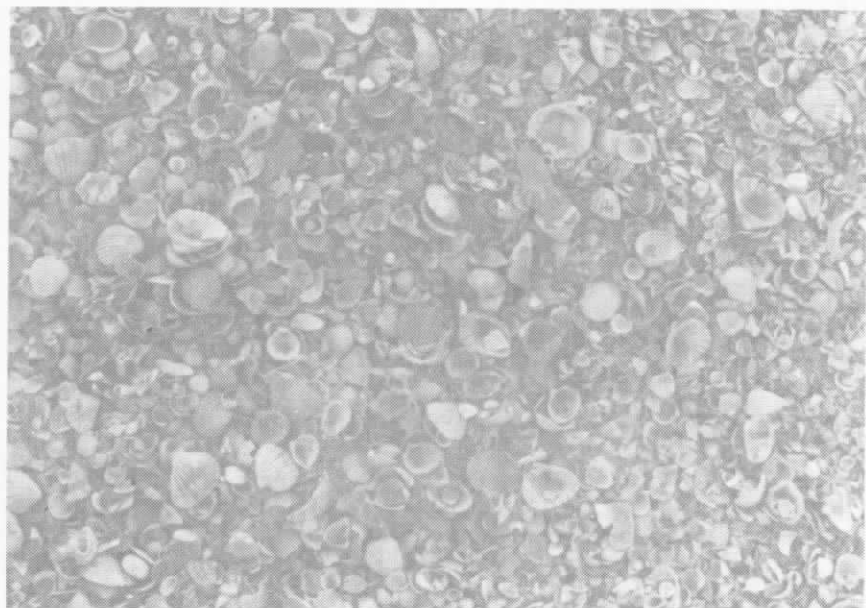
Il s'agit d'un sable et d'un gravillon qui ont été utilisés, tant pour la grave destinée à la couche de base, que pour les enrobés (sable uniquement).

B—Les matériaux

La seule source de matériaux à squelette dans la région de Nouakchott était constituée de **tout-venant coquillé**. Celui se rencontre par bancs de 20 à 60 cm d'épaisseurs, formés par un mélange de sable très fin et de coquillages calcaires de plus ou moins grandes dimensions ne dépassant pas toutefois 60 mm. Ces bancs sont recouverts d'une trentaine de centimètres d'un sable pollué, décapé au bull.

C'est donc à partir de ce tout-venant coquiller, brut, criblé ou concassé qu'ont été réalisés les différents ouvrages de l'aéroport de Nouakchott. Toutefois, afin d'améliorer la couche de roulement,

il avait été prévu l'utilisation de pierre de meilleure dureté, située à 200 kms de Nouakchott, dite « Pierre d'Akjoujt ».



Les différents matériaux de base élaborés à partir de ces coquillages, dont les caractéristiques sont données dans le présent chapitre sont les suivants :

— **Pour couche de fondation**

Un tout-venant coquillé brut 0/31⁵

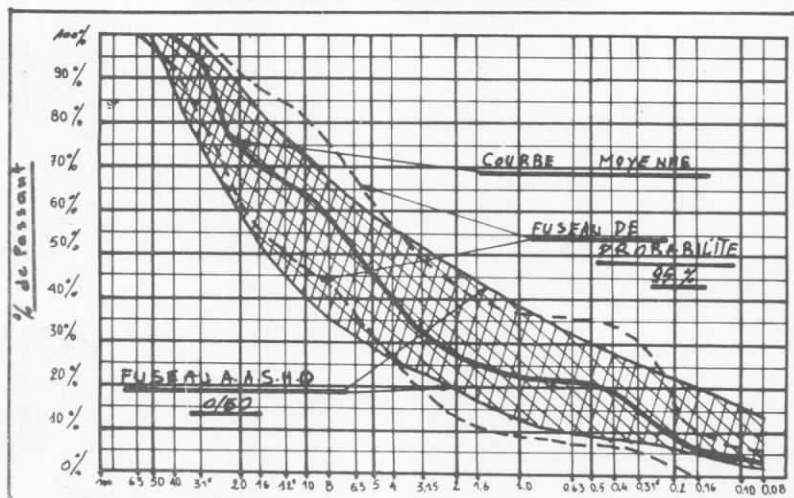
— **Pour couche de base**

Grave coquillé criblée recomposée à partir d'un granulat coquillé criblé 2/16, d'un sable coquillé criblé 0/3, d'un sable fillerisé issu du concassage des coquillages ayant une dimension supérieure à 20 mm.

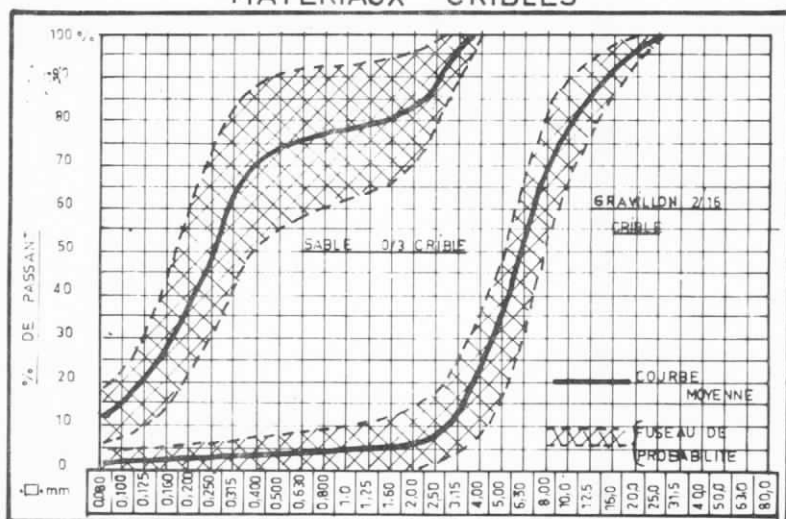
— **Pour couche de roulement**

Un gravillon concassé 6/10, issu du concassage des coquillages présentant une dimension supérieure à 20 mm, un sable fillerisé broyé et un sable criblé, avec adjonction pour certaines zones de la pierre d'Akjoujt concassée.

TOUT VENANT COQUILLE 0/31⁵



MATERIAUX CRIBLES



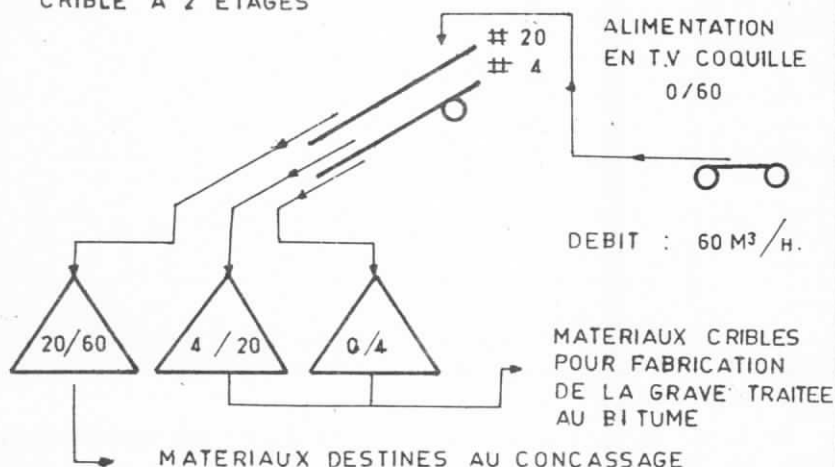
2.1. Processus d'élaboration

Ces matériaux sont obtenus par criblage du tout-venant coquillé, sur un crible à deux étages avec grille de 4 mm et 16 ou 20 mm.

La schéma de l'installation est donné ci-dessous.

INSTALLATION DE CRIBLAGE DU T.V. COQUILLE

CRIBLE A 2 ETAGES



Les matériaux obtenus, sont donc par définition aux grilles, un sable 0/4 et un gravillon 4/20, ainsi qu'un 20/60 qui servira à l'élaboration des matériaux concassés. Les proportions respectives de chaque classe granulaire sont les suivantes :

Sable	Gravillon	d/D
45 %	40 %	15 %

2.2. Caractéristiques du sable et gravillon criblé

Le fuseau statistique de probabilité 95 % ($m \pm 2$) des granularités sur le sable et le gravillon coquillés criblés issu de 75 valeurs pour le sable, de 85 Valeurs pour le gravillon est donné ci-dessous.

Sable

Tamis	2,5	1,25	0,8	0,315	0,160	0,080
Moyenne	89 %	79 %	75 %	70%	28%	12 %
Ecart-type	5	7,5	8	9,5	7,5	3,5

Gravillon

Tamis	20	16	12,5	10	8	5	2,5	0,8	0,80
Moyenne	97 %	92 %	86 %	78 %	67 %	33 %	8.9%	4,5 %	1,5%
Ecart-type	2	3	4,5	5,5	6,5	7,5	4,5	3	1

Les matériaux obtenus sont **un sable 0/3 et un gravillon 2/16** voir même une grave 0/16. Le sable 0/3 est un mélange de dispersion assez importante.

95 % des matériaux utilisés ont présenté une propreté **comprise entre 16 et 28**. quelques limites d'Atterberg réalisées sur ces matériaux ont donné les résultats suivants :

E.S	Wl %	Wp %	Ip %
21	18 %	15 %	3 %
23	18,5 %	16 %	2,5 %
24	non plastique		

Les fines de ce sable, bien que caractérisées par une propreté faible, sont peu plastiques, et par conséquent ne présentent pas de nocivité.

La masse spécifique de ces matériaux est de 2,71 pour le sable et 2,66 pour le gravillon 2/16.

3—Matériaux concassés coquilles

Il s'agit d'un sable et d'un gravillon, utilisé pour la réalisation de la couche de liaison et roulement, le sable étant pour sa part aussi utilisé dans l'élaboration de la grave améliorée au bitume destinée à la réalisation de la couche de base.

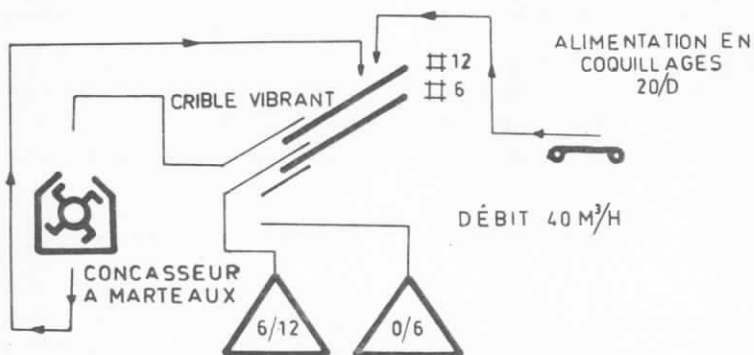
3.1. Processus d'élaboration

Ces matériaux sont élaborés par concassage de la fraction supérieure à 16 ou 20 mm du tout-venant coquiller naturel d'origine, obtenue lors de l'opération de criblage décrite précédemment.

Rappelons que pour obtenir 1 m³ de coquillages 20/D, il est nécessaire de cribler 6 à 7 m³ de tout-venant coquillé.

L'installation de concassage utilisée pour l'élaboration de ces matériaux concassés, est composée d'un concasseur à marteau, et d'un crible vibrant à deux étages, avec grille de 6 et 12 mm. Elle est visualisée sur croquis ci-après.

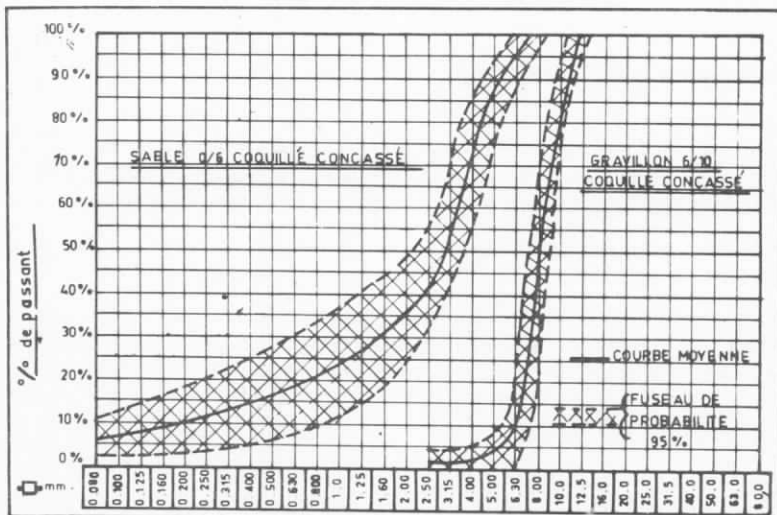
INSTALLATION DE CONCASSAGE (COQUILLAGES 20 D)



Les matériaux ainsi obtenus sont un **sable concassé** et un **gravillon concassé** dans les proportions de 2 volumes de sable pour 1 volume de gravillon.

3.2. Caractéristiques du sable et gravillon concassé

MATÉRIAUX CONCASSES



Sable

Tamis	16,3	5	2,5	1,25	0,8	0,160	0,08
Moyenne	96 %	79%	42%	26,5%	20%	9 %	6 %
Ecart-type	3	8	8,5	7,5	7	3	2,5

Gravillon

Tamis	10	8	6,3	5	2,5
Moyenne	90 %	46%	11%	3 %	2 %
Ecart-type	7	7,5	5	2	1

Les matériaux obtenus sont donc **un sable concassé 0/6 et un gravillon concassé 6/10 voire 6/12,5**. Le sable présente une dispersion assez importante.

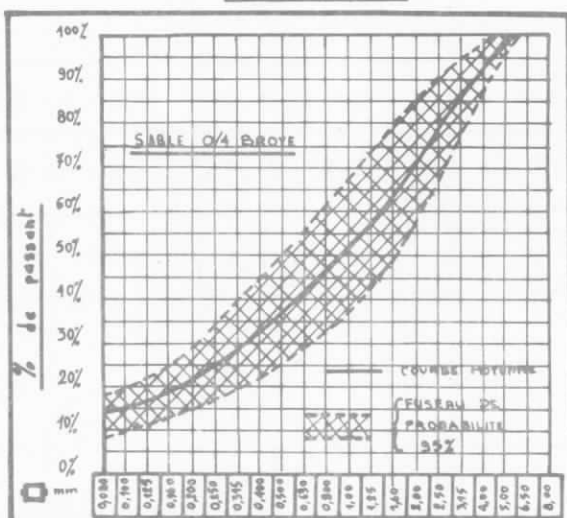
95 % des matériaux utilisés ont présenté une propreté comprise entre 23 et 47 pour un E.S. exigé supérieur à 45.

La masse spécifique est de 2,80 pour le sable concassé et de 2,78 pour le gravillon.

4—Le sable broyé

Il s'agit d'un sable utilisé tant pour la couche de base que la couche de roulement.

SABLE 0/d



4.1. Processus d'élaboration

Ce sable a été obtenu par broyage du sable 0/6 de concassage. Le broyeur utilisé est un broyeur à barres ayant une vitesse de rotation de 25,6 tours à la minute. La charge broyante est constituée de barres (Ø 60, 65 et 70) d'un poids total au départ de 10,8 tonnes. Le débit de ce sable fillerisé broyé est de l'ordre de 8 m³ à l'heure.

4.2. Caractéristiques du sable broyé

Tamis	5	2,5	1,25	0,8	0,315	0,160	0,08
Moyenne	99%	79,5%	56 %	40,5%	28 %	18%	13 %
Ecart-type	1,5	5,5	8,5	6,5	4,5	2,5	2,5

Le sable obtenu est un sable 0/4, présentant une assez forte dispersion, le pourcentage moyen de fines étant de 13 % soit un gain de 7 % par rapport au sable d'origine.

On peut estimer que 95 % des matériaux produits ont présenté une propreté comprise entre 20 et 38, la valeur contractuelle minimale exigée était de 40.

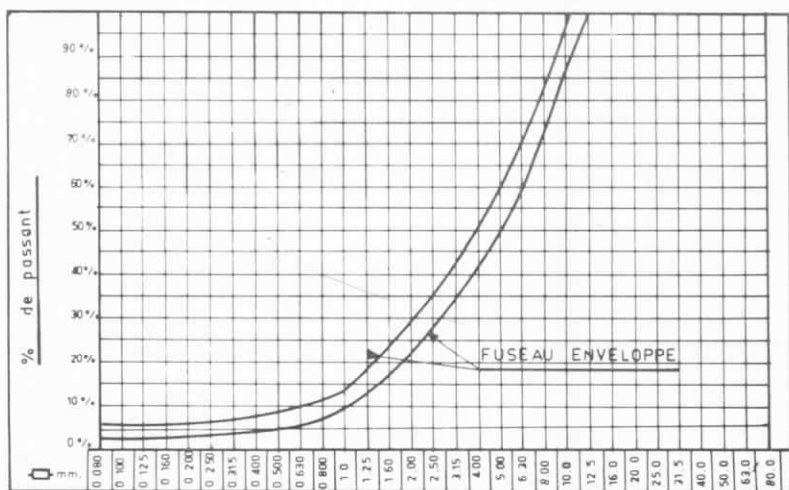
Le poids spécifique de ce sable est de 2,80

5—Pierre d'Akjoujt

Il s'agit d'un matériau utilisé pour l'amélioration de la couche de roulement.



PIERRE D'AKJOUJT CONCASSÉE



5.1. Processus d'élaboration

Le concassage de la pierre d'Akjoujt s'est fait à partir de l'installation disponible munie d'une grille de 10 mm, un concassage préalable ayant toutefois eu lieu pour arriver à une première réduction de ces pierres.

Le matériau obtenu présente un pourcentage d'éléments inférieurs à 80 compris entre 3,5 et 4,5 %. Ce matériau ne peut être classé comme un gravillon, puisqu'il comporte plus de 50 % d'éléments inférieurs à 5 mm. Il s'agit donc **d'une grave 0/10**. L'équivalent de sable de ce matériau est compris entre 60 et 70, quant à la forme du squelette, elle présente un aplatissement compris entre 11 et 14 %, donc une bonne cubicité. Il ne s'agit donc pas du matériau souhaité par le maître d'œuvre pour permettre l'amélioration escomptée.

6—Conclusion

S'il était nécessaire de s'adapter aux matériaux les plus proches du chantier, à savoir les coquillages de la région de Nouakchott, il est certain que techniquement à partir de ces disponibilités locales il était impossible d'obtenir des granulats présentant des caractéristiques plus conformes que celles enregistrées.

Le tout-venant coquillé brut 0/31⁵, destiné à la couche de fondation, a présenté une granularité discontinue (mélange de sable fin, de débris coquillés et de coquillage) et dispersée (provenant de trois emplacements différents). Ce matériau a d'autre part présenté une propreté satisfaisante (E.S. compris entre 23 et 37).

Les matériaux criblés, concassés ou broyés ont présenté des granularités fortement dispersées, dues en partie à l'hétérogénéité des lieux d'extractions. Le processus de stockage réalisé par l'entreprise en couches superposées permettra de réduire légèrement cette dispersion à la fabrication des matériaux traités (plus sensible au niveau des produits criblés). La propreté des sables a été en général faible et inférieure aux prescriptions contractuelle, toutefois les fines ne présentaient pas un caractère nocif, l'I.P. étant très faible, voire non mesurable.

Les quantités de matériaux soumises aux différentes chaînes d'élaboration ont été très importantes puisque rappelons que pour 1 m³ de tout-venant 0/60 caquillé extrait, les proportions respectives de granulats obtenus sont :

Sable criblé	Gravillon criblé	Sable concassé	Gravillon concassé
45 %	40 %	10 %	5%

Il est indéniable que ces éléments quantitatifs ont fortement influencé le choix de l'entreprise quant aux formulations proposées pour les matériaux traités aux liants hydrocarbonés ainsi que dans le fait d'avoir utilisé un sable concassé dans le broyeur à barre pour obtenir un sable fillerisé alors que techniquement il aurait été souhaitable d'utiliser un matériau plus graveleux (type grain de riz), pour l'alimentation de cedernier.

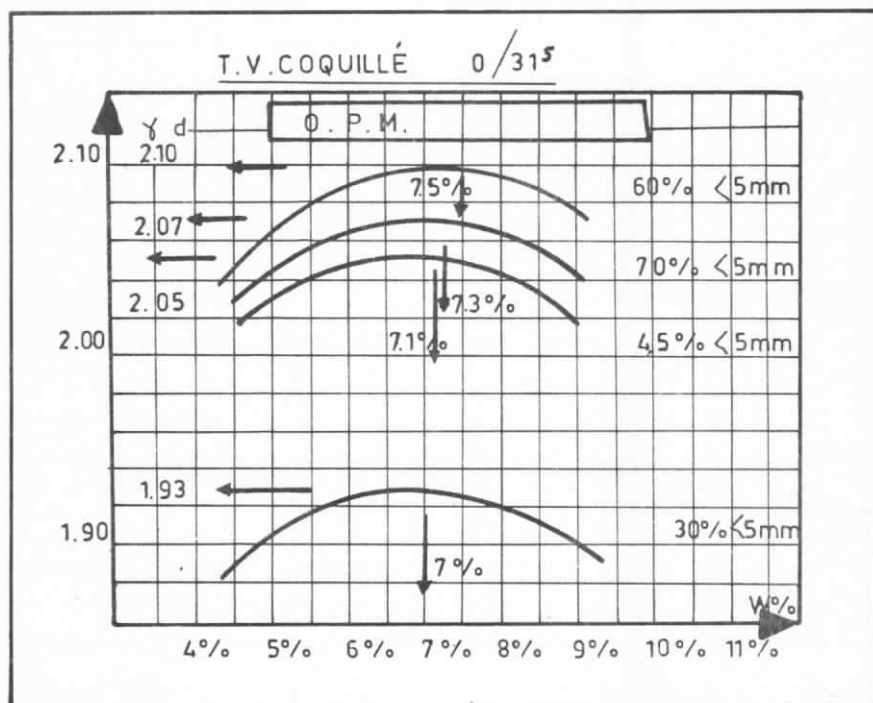
L'utilisation de la pierre d'Akjoujt concassé, avait pour but d'améliorer le squelette, la dureté et les performances de l'enrobé utilisé en couche de roulement. Il est bien évident que pour ce faire, il était nécessaire d'employer un gravillon concassé d'Akjoujt type 5/10 par exemple.

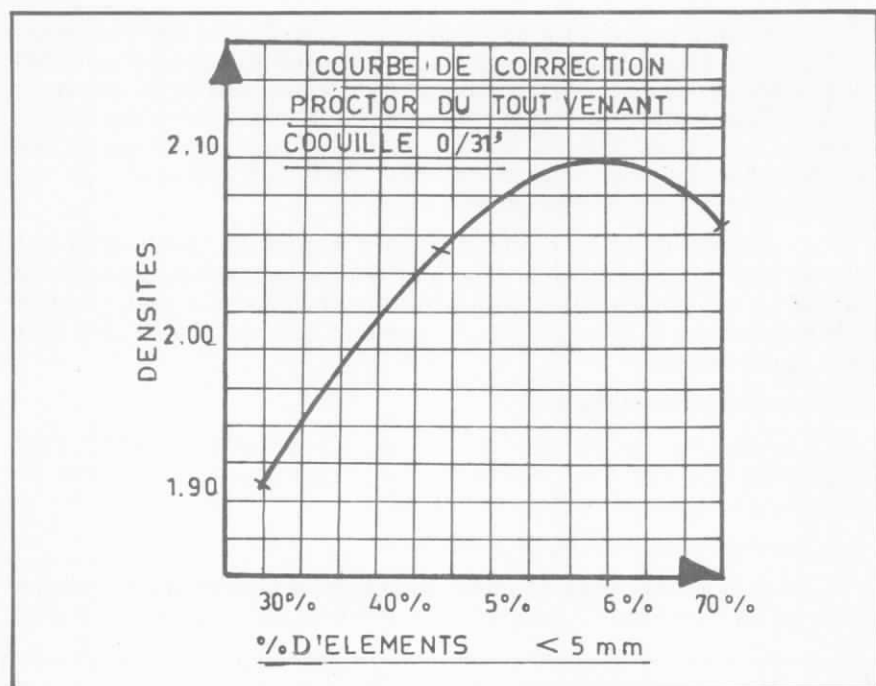
C—Couche de fondation

La couche de fondation réalisée en tout-venant 0/31,5 était supportée par une couche de forme constituée par un sable fin comportant quelques débris coquillés.

1—Caractéristiques Proctor Modifié

Elles sont fournies ci-après ainsi que la courbe de correction utilisée en fonction du pourcentage d'éléments inférieurs à 5 mm.





2—Atelier de compactage

L'atelier de compactage était composé :

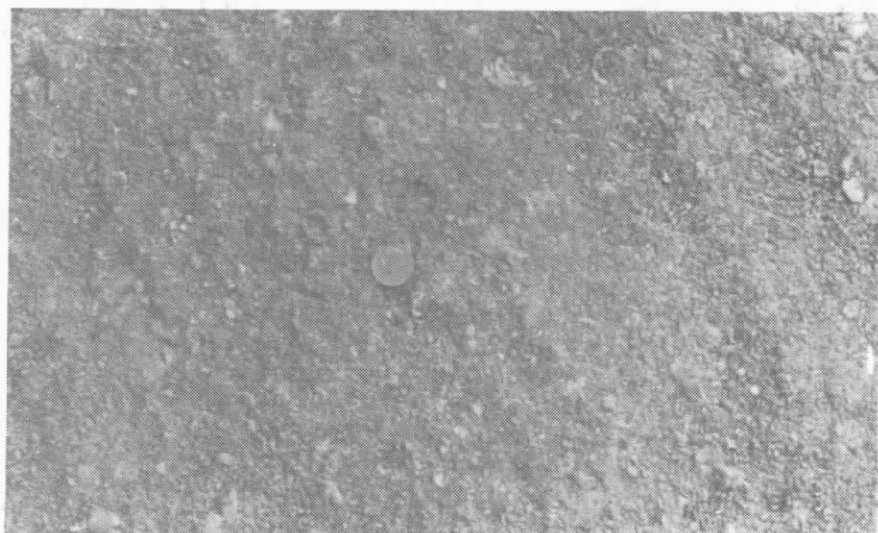
- d'un compacteur vibrant d'un poids total en ordre de marche de 9,2 tonnes.
- d'un rouleau compacteur à pneus d'un poids total de 28 tonnes, pour 9 roues.

3—Résultats de la mise en œuvre

	Teneur en eau	Taux de compactage
Nombre de valeurs	117	117
Moyenne	4,7 %	99,9 %
Ecart type	1,5 %	2,4 %

95 % des teneurs en eau à la mise en œuvre ont été compris entre 1,7 % et 8,7 %, alors que les teneurs en eau Proctor de référence sont comprises entre 7 et 7,5 %. Dans la majeure partie des cas, la teneur en eau de compactage a été inférieure à la teneur en eau de référence, et ce malgré l'arrosage réalisé directement à l'extraction.

Le compactage de la couche de fondation, a présenté, dans 95 % des cas un taux compris entre 95,1 et 104,7 %, pour un taux de compactage demandé supérieur à 95 %. Les résultats répondent à ces prescriptions, et l'on constate la bonne aptitude au compactage du tout-venant coquillé malgré les teneurs en eau parfois faibles.



Par ailleurs des essais C.B.R. réalisés, en laboratoire, sur ce tout-venant coquillé, présentent, pour un taux de compactage de 95 % de l'O.P.M. et après 4 jours d'imbibition des valeurs comprises entre 55 et 80.

4—Conclusion

Le compactage de la couche de fondation en tout-venant coquillé 0/315 a été réalisé de façon satisfaisante. Ce tout-venant coquillé présente une bonne aptitude au compactage ainsi qu'une bonne portance.

D—Grave améliorée au bitume

1—Formulation

Les matériaux utilisés pour la réalisation de la grave améliorée au bitume, sont constituées :

- d'un sable coquillé criblé 0/3
- d'un gravillon coquillé criblé 2/16
- d'un sable coquillé concassé 0/6
- d'un sable coquillé broyé 0/4.

Le choix de la formulation retenue, s'est fait à partir des résultats des diverses performances obtenues par l'entreprise sur les formes qu'elle a étudiées. Les résultats « entreprise » sont rappelés sommairement ci-après :

	F O R M U L E S				
	1	2	3	4	5
Sable coquillé criblé 0/3	31 %	36 %	44 %	36 %	38 %
Gravillon coquillé criblé 0/16	53 %	48 %	40 %	42 %	40 %
Sable coquillé concassé 0/6	16 %	16 %	16 %	22 %	12 %
Sable coquillé broyé 0/4	0 %	0 %	0 %	0 %	10 %
Dosage bitume 60/70	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %
Formules	1	2	3	4	5

Formules	1	2	3	4	5
Module de Richesse	2,61	2,57	2,48	2,55	2,46
Densité vraie	2,546	2,533	2,516	2,537	2,51
Densité apparente	2,18	2,19	2,18	2,19	2,27
Compacité Marshall	85,6%	86,5%	86,6%	86,3%	90,4%
% de vides	14,4%	13,5%	13,4%	13,7%	9,6%
Stabilité Marshall (75 coups)	510kg	685kg	571kg	700kg	690kg
Fluage Marshall	3,6mm	3,7mm	3,7mm	3,8mm	3,6mm

Les prescriptions techniques préconisaient l'emploi d'une grave 0/20 améliorée au bitume présentant une stabilité Marshall supérieure à 500 kg, et une compacité Marshall supérieure à 90 %, c'est à dire un pourcentage de vides inférieur à 10 %. L'ensemble des formules présente des caractéristiques de stabilité Marshall supérieures à 500 kg, par contre le pourcentage de vides pour quatre d'entre elles n'est pas conforme aux spécifications. La dernière formule testée -adjonction de 10 % de sable broyé- permettant une très sensible amélioration au niveau des vides -9,5 % au lieu de 13,7 en moyenne- a donc été retenue.

La formule est donc la suivante :

SABLE COQUILLE CRIBLE 0/3	38 %
GRAVILLON COQUILLE CRIBLE 2/16	40 %
SABLE COQUILLE CONCASSE 0/6 ..	12 %
SABLE COQUILLE BROYE 0/4 ...	10 %
BITUME	4 %

Le fuseau de réception retenu -choisi parmi les divers fuseaux proposés par l'Entreprise- a été le fuseau 3/4 du « Corps of Engineers ».

2—Le bitume

Le bitume utilisé pour l'ensemble des matériaux traités aux liants hydrocarbonés, était acheminé par voie maritime, a été

déchargé et stocké dans une cuve à proximité du port, avant d'être transporté, par voie routière, à la centrale d'enrobage.

La dureté de ce bitume comprise entre 45 et 70, ne permet pas de le classer en tant que 40/50 ou 60/70. Il s'agit d'un bitume de classe 40/70. Cette variation dans la qualité du bitume, notons le, d'ores et déjà, ne peut qu'entraîner des dispersions au niveau des caractéristiques des matériaux traités.

3—La centrale d'enrobage

La centrale d'enrobage utilisée pour réaliser l'ensemble des produits traités aux liants hydrocarbonés est une centrale à tambour sèche malaxeur d'un débit de 70 à 160 tonnes heure. Cette centrale est composée de la façon suivante :

- Une citerne de stockage du liant
- Quatre prédoseurs de type volumétrique pour les granulats.
- Une sauterelle de reprise assurant la liaison entre les pré-doseurs et le tambour sèche malaxeur.

Cette sauterelle est munie d'un système de pesons permettant un contrôle continu du poids de l'ensemble des granulats approvisionnés (mélange minéral).

Le poids indiqué, est le poids sec après correction de la teneur en eau.

- Un tambour sèche malaxeur, dont la flamme est située à l'entrée des matériaux contrairement aux installations classiques. Ce tambour est un cylindre de 1,70 mètres de diamètre et de 8 mètres de long. Il peut être décomposé fonctionnellement de la façon suivante :
- Le premier tiers est réservé au séchage des matériaux.
- L'injection de bitume se fait ensuite à ce niveau, par l'intermédiaire d'une pompe. Le débit de cette pompe est lié directement au peson du mélange minéral sec, ce qui permet un asservissement liant-granat.
- Les deux tiers inférieurs du tambour sont consacrés au malaxage.
- Un dépoussiéreur à la sortie du tambour.
- Une sauterelle de transport et une trémie de stockage des matériaux traités aux liants hydrocarbonés.
- Un poste de commande des divers organes, avec en outre une visualisation du débit du minéral sec (après correction de teneur en eau), ainsi que du débit du bitume en m³/heure et non en tonne/heure.

Il s'agit là d'une installation de conception récente, dont la première utilisation en Afrique a été faite dans le cadre de ce chantier.

4—Résultats des contrôles de fabrication

Les contrôles de fabrication réalisés par le laboratoire ont porté sur :

- La granularité du mélange minéral avant introduction dans le T.S.M.
- La granularité et le dosage en bitume, par extraction du matériau traité.
- Les caractéristiques Marshall de la grave améliorée au bitume.

4.1. Granularité avant et après passage dans le T.S.M.

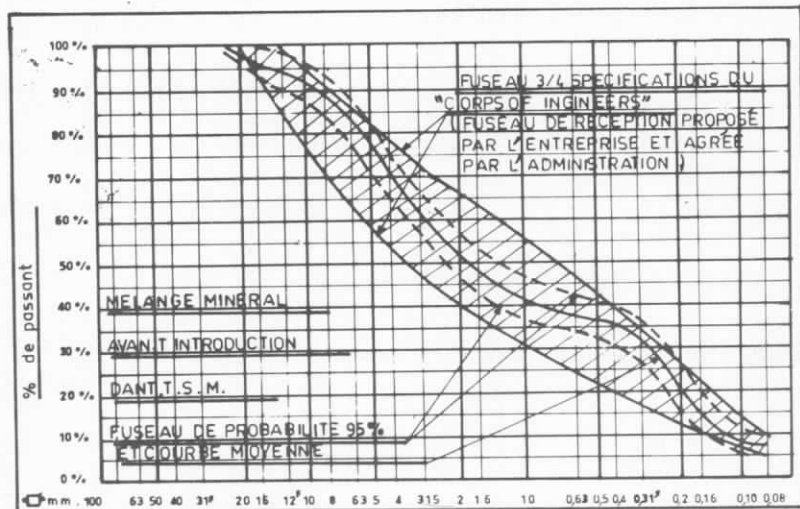
Mélange minéral avant T.S.M. (27 valeurs)

Tamis(mm)	20	16	12,5	8	5	2,5	1,25	0,8	0,31	0,160	0,080
Moyenne	98,8%	95,4%	94,4%	88,9%	77,3%	55,7%	44,4%	39,2%	31,8%	14,7%	7,3%
Ecart-type	0,7%	3	1,7	1,8	2,3	2,1	2,7	2,1	2,4	2	1,3

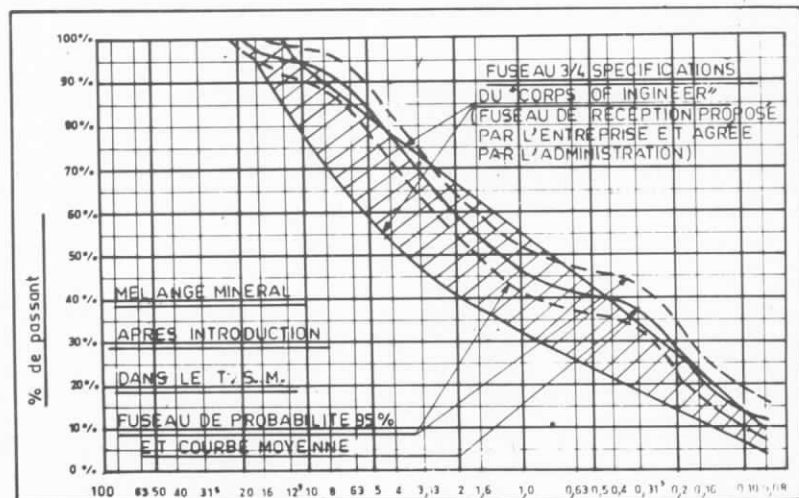
Mélange minéral après T.S.M. (extractions 76 valeurs)

Tamis(mm)	16	12,5	10	6,3	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,160	0,08
Moyenne	97,1%	95,9%	94,4%	89,3%	83,5%	62,2%	47,9%	41,1%	37,3%	20,4%	11,5
Ecart-type	1,4	1,5	1,7	2,2	2,6	2,4	2,5	2,6	2,6	2,4	2,3

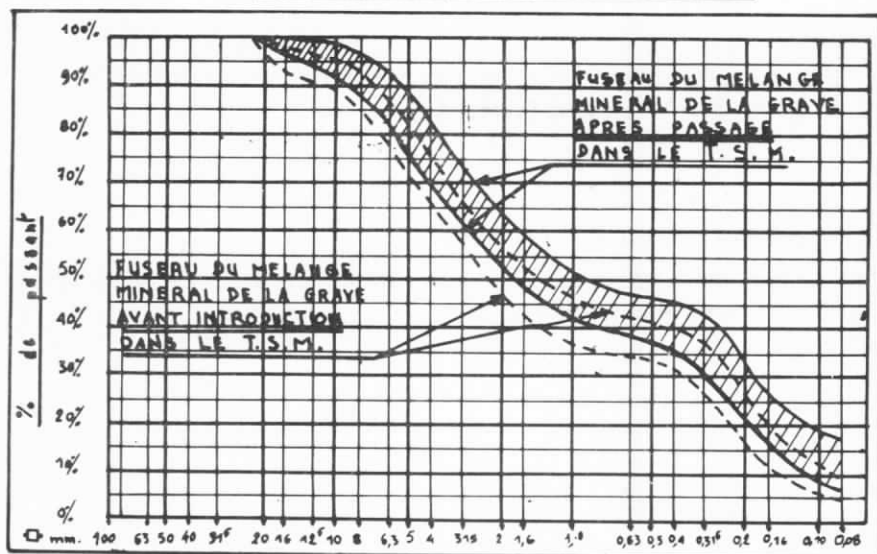
MELANGE MINERAL DE LA GRAVE AVANT INTRODUCTION DANS T.S.M.



MELANGE MINERAL DE LA GRAVE APRES INTRODUCTION DANS T.S.M.



EVOLUTION DU MELANGE MINERAL



4.2. Dosage en bitume de la grave 0/10

L'analyse statistique des résultats des dosages en bitume (76 valeurs) a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart - type
4,04 %	0,23

4.3. Module de Richesse

Les résultats obtenus sur les 76 contrôles réalisés ont donné les valeurs suivantes :

Moyenne	Ecart - type
2,23	0,14

4.4. Stabilité Marshall (75 coups)

L'analyse statistique des 304 valeurs de stabilité Marshall a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart - type
735	118

4.5. Fluage Marshall

Les résultats obtenus sur les 304 valeurs analysées sont les suivants :

Moyenne	Ecart - type
2,5 mm	0,6

4.6. Densité Marshall

L'analyse statistique des 304 valeurs a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart - type
2,22	0,02

5—Mise en œuvre

5.1. Matériel de mise en œuvre

Le matériel de mise en œuvre pour la grave 0/10 coquillée améliorée au bitume qui a été utilisé est le suivant :

Un finisher

Un tandem lisse

Un rouleau vibrant

Un rouleau à pneus

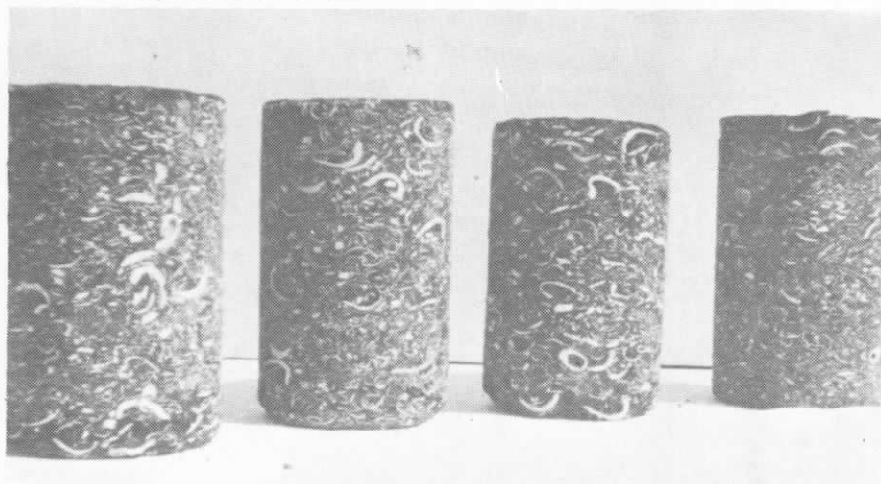
5.2. Contrôle de la mise en œuvre

Il a été procédé une fois l'allongement de la piste terminé à 30 carottages sur la grave bitume.

L'analyse des mesures de densité réalisées sur ces carottes a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart - type
2,09	0,03

6—Conclusion sur la fabrication et le mise en œuvre de la grave 0/10 améliorée au bitume



La grave améliorée au bitume a présenté lors de la fabrication une granularité assez homogène, compte tenu de la dispersion des matériaux de base, avec une bosse de sable assez prononcée due à l'utilisation massive de sable 0/3 coquillé criblé. Une évolution de cette granularité est apparue lors du passage dans le tambour sécheur malaxeur modifiant sensiblement le squelette, puisque la grave produite a été une 0/10, et augmentant la production de fines.



Le dosage moyen en bitume a été conforme au dosage d'étude, toutefois la dispersion est importante, qui plus est pour une centrale munie d'un asservissement liant-granulats.

Les stabilités Marshall ont toujours été supérieures aux prescriptions exigées, avec toutefois une plage de variation importante variant du simple au double. Ces deux derniers phénomènes -dispersion du dosage et de la stabilité- doivent en partie trouver leur explication dans la classe du bitume utilisé (40/70) classe très large regroupant les deux qualités généralement utilisés (40/50 et 60/70).

Les densités Marshall à la fabrication ont laissé apparaître un pourcentage de vides légèrement supérieur à celui obtenu lors de l'étude faite par l'Entreprise. De plus, les pourcentages de vides « in situ » de la grave 0/10 améliorée au bitume sont très élevés, variant de 14,8 % à 19,2 %. L'absence de planches d'essais réalistes sur ce matériau de type très particulier, ainsi que l'allure même des coquillages ne permettant pas un arrangement rigoureux sont sans doute les causes des forts pourcentages de vides constatés.

Le matériau mis en œuvre pour la couche de base, est comme son nom l'indique une grave 0/10 **améliorée** au bitume, dont les performances ne sauraient être comparées à celles d'une grave bitume.

Des essais complémentaires sur ces matériaux devaient être réalisés par la suite afin de tester les possibilités offertes, de tenter d'expliquer les diverses évolutions granulaires constatées, et de vérifier le comportement au vieillissement de ce matériau. Il n'en a malheureusement pu en être aussi pour des raisons qui dépassent le cadre de cette étude.

E— Béton bitumineux sans matériau d'Akjoujt

Ce matériau a été utilisé **en couche de liaison**

- pour l'ensemble de la piste.
- pour l'agrandissement de l'aire de trafic et l'élargissement de la bretelle.
- pour les raquettes **et en couche de roulement**
- pour l'ensemble des bandes latérales (allongement et renforcement).
- pour le renforcement de l'aire de trafic et la bretelle d'accès.

I• Formulation

Les matériaux utilisés pour la fabrication des enrobés sont constitués :

- d'un gravillon coquillé concassé 6/10
- d'un sable coquillé criblé 0/3
- d'un sable coquillé broyé 0/4

Le choix de la formulation retenue, s'est fait à partir des résultats des diverses performances obtenues par l'Entreprise sur une formule qu'elle a étudiée.

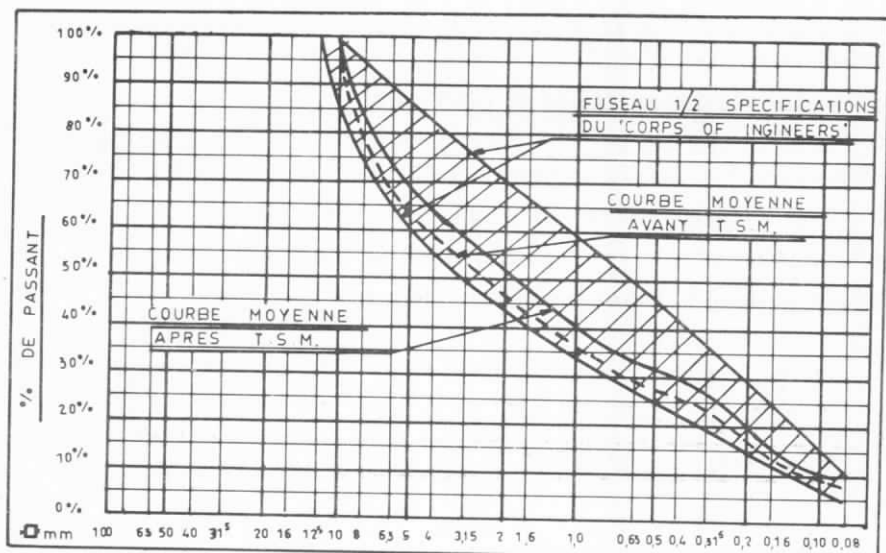
Les résultats « Entreprise » sont rappelés sommairement ci-après.

	Formule . Entreprise		
Gravillon coquillé concassé 6/10	33 %	33 %	33 %
Sable coquillé criblé 0/3	20 %	20 %	20 %
Sable coquillé broyé 0/4 .	47 %	47 %	47 %
Bitume 60/70	5,5 %	5,9 %	6,3 %

Module de Richesse	3,25	3,5	3,75
Densité vraie	2,554	2,540	2,526
Densité apparente	2,45	2,46	2,465
Compacité Marshall	95,9 %	96,9%	97,6 %
% de Vides	4,1 %	3,1%	2,4 %
Stabilité Marshall (75 coups)	1405	1431	1378
Fluage Marshall	3,5	3,6	3,8

Densité apparente	2,305	2,325	2,33
Compacité L.C.P.C.	90,2 %	91,5 %	92,2 %
% de Vides	9,8 %	8,5 %	7,8 %
RC à 24 heures sec	71,5	73	76,5
RC à 8 jours sec	73,5	75	78,5
RC à 8 jours humide	60,5	62	65
R Humide:/ R sec	0,823	0,827	0,828

EVOLUTION DU MELANGE MINERAL DU B.B. AKJOUJT



Les prescriptions exigent une compacité Marshall comprise entre 92 % et 97 %, une compacité L.C.P.C. supérieure à 90 %. La stabilité Marshall doit être supérieure à 700 kg, la résistance à la compression L.C.P.C. supérieure à 35 bars, le fluage Marshall devra être inférieur à 5 mm. La formulation retenue, répondant en tous points aux prescriptions, a donc été la suivante :

Gravillon coquillé concassé 6/10	33 %
Sable coquillé criblé 0/3	20 %
Sable coquillé broyé 0/4	47 %
Bitume	5,9 %

2—Le bitume

Le bitume utilisé (40/70), est de même provenance que celui ayant servi à l'élaboration de la grave 0/10 pour couche de base.

3—La centrale d'enrobage

Il s'agit du T.S.M. déjà utilisé pour la fabrication de la grave améliorée au bitume.

4—Résultats des contrôles de fabrication

Les contrôles de fabrication réalisés sur ces enrobés sont identiques à ceux effectués sur la grave 0/10 améliorée au bitume.

L'ensemble des résultats obtenus est exposé ci-après.

4.1. Gralularité avant et près passage dans le T.S.M.

Mélange Minéral avant T.S.M. (18 valeurs)

TANIS	10	8	6,3	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Moyenne	97,4%	83,5%	71,3%	67,2%	55,3%	41,3%	32,5%	27,1%	14,1%	7,0%
Ecart Type	1	2,9	3	2,9	3,2	3,6	3,6	3,6	3,5	2

Mélange Minéral apres T.S.M. (33 valeurs)

TAMIS	10	8	6,3	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Moyenne	98,3%	87,3%	75,5%	71,9%	60%	43,9%	34,9%	29,6%	16,3%	9,4%
Ecart Type	1	2,7	3,5	3,4	3,2	3,6	3,6	3,6	2,5	2

4.2. Dosage en bitume de l'enrobé 0/10

L'analyse statistique des résultats du dosage en bitume (33 valeurs) a donné les résultats suivants :

MOYENNE	ECART TYPE
6,10	0,33

4.3. Module de richesse

Les résultats obtenus sur les 33 contrôles réalisés ont donné les valeurs suivantes :

MOYENNE	ECART TYPE
3,51	0,20

4.4. Stabilité Marshall (75 coups)

L'analyse statistique des 134 valeurs de stabilité Marshall a donné les résultats suivants :

MOYENNE	ECART TYPE
978 kg	107

4.5. Fluage Marshall

Les résultats obtenus pour les 134 valeurs sont fournis ci-après.

MOYENNE	ECART TYPE
2,58	0,58

4.6. Densité Marshall

L'analyse statistique des 134 valeurs a donné les résultats suivants :

MOYENNE	ECART TYPE
2,43	0,02

5— Mise en œuvre

5.1. Matériel de mise en œuvre

Le matériel employé est identique à celui utilisé pour la mise en œuvre de la grave améliorée au bitume.

5.2. Contrôle de la mise en œuvre

6 carottages ont été réalisés sur cet enrobé. Les valeurs des densités obtenues sont fournies ci-après.

	Densité	Compacité (densité vraie)	P % de vides
	2,40	95,1 %	4,9 %
	2,42	95,9 %	4,1 %
	2,30	91,2 %	8,8 %
	2,32	91,9 %	8,1 %
	2,30	91,2 %	8,8 %
	2,35	93,2 %	6,8 %
Moyenne	2,35	93,2 %	6,8 %

6— Conclusion sur la fabrication et la mise en œuvre des enrobés 0/10 sans akjoujt

Les enrobés 0/10 sans akjoujt, à la fabrication, ont présenté, une granularité assez dispersée, avec bosse de sable du fait de l'uti-

lisation du sable 0/3 criblé. Il s'agit d'autre part d'un enrobé très sableux (50 à 60 % d'éléments inférieurs à 2 mm) s'inscrivant cependant dans le fuseau proposé par l'Entreprise à savoir le 1/2 « du Corps of Ingeneers ». Rappelons à titre indicatif que les spécifications Marocaines prévoient pour les bétons bitumineux un pourcentage d'éléments inférieurs à 2 mm compris entre 30 et 45 %. Une évolution de la granularité, moins nette cependant que dans le cas de la grave pour couche de base, s'est manifestée lors du passage dans le tambour sécheur malaxeur.

En ce qui concerne le dosage en bitume et la stabilité Marshall, la dispersion constatée est importante, et sans doute imputable aux mêmes causes que pour la grave améliorée au bitume (fluctuation dans la qualité du bitume asservissement granulats-liant en m³ de liant), la stabilité Marshall a toujours été supérieure aux 700 kg imposés, (les valeurs obtenues étant toutefois nettement inférieures aux caractéristiques fournies par l'étude réalisée par l'Entreprise). Les densités Marshall à la fabrication ont donné des valeurs satisfaisantes, le pourcentage de vides répondant aux prescriptions imposées.

Les quelques valeurs de densité « In situ » semblent indiquer que l'aptitude au compactage de cet enrobé est meilleure que dans le cas de la grave bitume (présence d'éléments concassés au lieu du coquillage lamellaire 2/16 criblé), et que le compactage a été mené, dans l'ensemble d'une façon satisfaisante, avec toutefois une certaine irrégularité compte tenu de la dispersion constatée.

F—Béton bitumineux avec matériau d'akjoujt

Ce matériau a été utilisé **en couche de roulement**

- pour l'ensemble de la bande centrale de la piste (renforcement et allongement).
- pour l'agrandissement de l'air de Trafic
- pour l'élargissement de la bretelle d'accès.

1—Formulation

Les matériaux utilisés pour la fabrication des enrobés pour couche de roulement sont constitués :

- d'un matériau 0/10 issu du concassage de la pierre d'akjoujt.
- d'un gravillon 6/10 concassé coquillé.
- d'un sable 0/3 coquillé criblé.
- d'un sable coquillé broyé 0/4

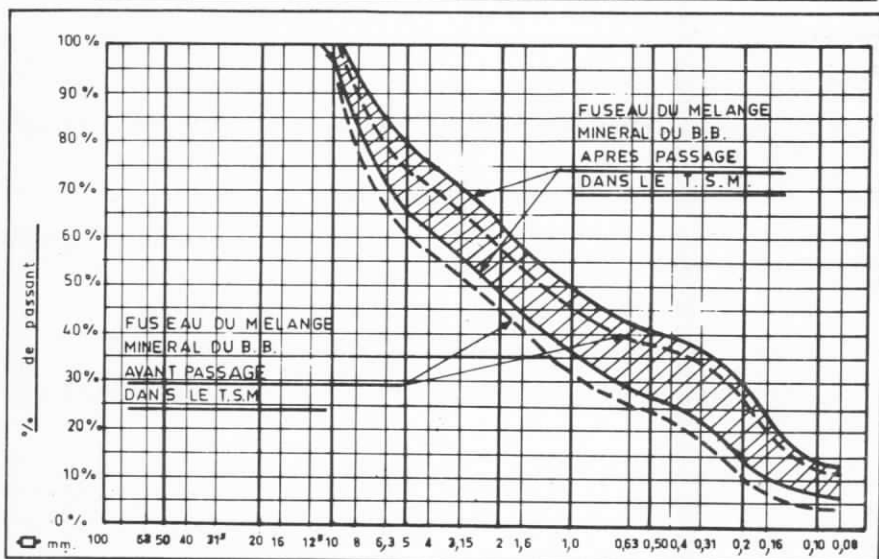
L'Entreprise a proposé à l'agrément une formulation qui a été testée. Cette dernière étant légèrement plus graveleuse. Les résultats obtenus sont fournis ci-après.

	ENTREPRISE	LPEE
Matériau 0/10 D'Akjoujt	20 %	20 %
Gravillon coquillé 6/10 concassé	26 %	30 %
Sable 0/4 coquillé criblé	20 %	18 %
Sable 0/4 coquillé broyé	36 %	31 %

Bitume 60/70	5,4%	5,85%	6,25%	5,90
Module de Richesse	3,25	3,50	3,75	3,75
Densité vraie	2,553	2,537	2,524	2,522
Densité apparente	2,435	2,445	2,46	2,45
Compacité Marshall	95,4%	96,4%	97,5%	97 %
% de vides	4,6%	3,6%	2,5%	3 %
Stabilité Marshall(75 cps)	1419	1490	1340	1273
Fluage Marshall	3,2	3,4	3,7	3

Densité apparente	2,30	2,32	2,33	2,27 ⁵
Compacité L.C.P .C.	90,1%	91,4%	92,3%	90 %
% de vides	9,9%	8,6%	7,7%	10 %
R.C. à 24 H sec	72	75	78	62
R.C. à 8 J sec	74,5	76,5	78	68
R.C. à 8 J humide	61	63	66,5	57
R Humide / R Sec	0,82	0,82	0,84	0,83

EVOLUTION DU MELANGE MINERAL DU B.B.SANS AKJOUJT



Les prescriptions imposent une compacité Marshall comprise entre 90 et 95 %, une résistance à 24 heures supérieure à 50 bars, un rapport RH/RS 0,83. En ce qui concerne le Marshall, la stabilité devait être supérieure à 900 kg. La compacité 97 %, le fluage inférieur à 4 mm.

La formulation retenue, répondant en tous points aux prescriptions, a donc été la suivante :

0/10 D'Akjoujt	20 %
Gravillon coquillé et concassé 6/10	30 %
Sable coquillé et criblé 0/3	18 %
Sable coquillé et broyé 0/4	32 %
Bitume 40/70	5,9 %

2—Le bitume

Le bitume utilisé est le même que celui ayant servi à l'élaboration de la grave 0/10 et des enrobés sans akjoujt.

3—La centrale d'enrobage

Il s'agit du T.S.M. déjà utilisé pour la fabrication de la grave améliorée au bitume.

4—Résultats des contrôles de fabrication

Les contrôles de fabrication réalisés sur ces enrobés sont identiques à ceux effectués sur les enrobés sans akjoujt.

L'ensemble des résultats obtenus est exposé ci-après

4.1. Granularité après passage dans le T.S.M.

L'exploitation statistique des 28 contrôles réalisés a donné les résultats suivants :

Tamis	10	8	6,3	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,08
Moyenne	97,9%	84,5%	72,4%	67,7%	55%	43%	32,6%	28	16	9,5
Ecart type	1,1	3,5	5,4	5,7	5	3,8	3	2,5	2,5	1,5

4.2. Dosage en bitume de l'enrobé 0/10 avec akjoujt

L'analyse statistique des résultats du dosage en bitume (28 valeurs) a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart Type
6,05	0,32

4.3. Module de richesse

Les résultats obtenus sur les 28 valeurs analysées ont donné les valeurs suivantes :

Moyenne	Ecart- Type
3,46	0,20

4.4. Stabilité Marshall (75 coups)

L'analyse statistique des 106 valeurs de stabilité Marshall a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart-Type
1025	75

4.5. Fluage Marshall

Les résultats obtenus pour les 106 contrôles réalisés ont donné les valeurs suivantes :

Moyenne	Ecart-Type
3,06	0,45

4.6. Densité Marshall

L'analyse statistique des 106 valeurs a donné les résultats suivants :

Moyenne	Ecart-Type
2,42	0,02

5— Mise en œuvre

5.1. Matériel de mise en œuvre

Le matériel employé est identique à celui utilisé pour la mise en œuvre des autres matériaux traités aux liants hydrocarbonés.

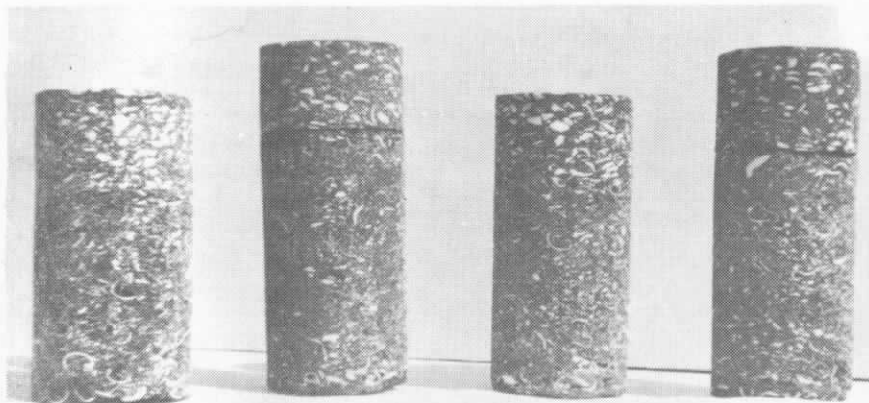
5.2. Contrôle de la mise en œuvre

Six carottages ont été réalisés sur cet enrobés. Les valeurs des densités obtenus sont fournies ci-après :

	Densité	Compacité (densité vraie)	% de Vides
	2,27	89,3 %	10,7 %
	2,39	94 %	6 %
	2,43	95,6 %	4,4 %
	2,46	96,8 %	3,2 %
	2,29	90,1 %	9,9 %
	2,35	92,5 %	7,5 %
Moyenne	2,36 ⁵	93,1 %	6,9 %

6—Conclusion sur la fabrication et la mise en œuvre des enrobés 0/10 avec akjoujt

Les enrobés 0/10 avec pierre d'akjoujt concassé, ont présenté, à la fabrication, une granularité assez dispersée. Cet enrobé est d'autre part très sableux (45 à 60 % inférieurs à 2 mm) s'inscrivant toutefois dans le fuseau proposé par l'entreprise à savoir le « 1/2 » du « Corps of Ingeneers ». Le projecteur avait prévu une amélioration de l'enrobé 0/10 par 20 % de gravillons d'akjoujt -matériau plus dur- afin d'améliorer les performances tant au niveau de la granularité que de la stabilité. en ce qui qui concerne le premier point, **le fait d'utiliser un 0/10 d'akjoujt** présentant 3,5 % d'éléments



inférieurs à 80 et 50 % d'éléments inférieurs à 5 mm, **au lieu du gravillon 6/10**, n'a pas permis l'amélioration du squelette graveleux qui était souhaité, d'autre part, toujours au niveau de la granularité, comme dans le cas des autres matériaux traités aux liants hydrocarbonés, une évolution s'est manifestée après passage dans le tambour sécheur mélangeur.

En ce qui concerne le dosage en bitume, la dispersion constatée est importante et sans doute imputable aux mêmes causes que pour les autres produits traités aux liants hydrocarbonés. La stabilité Marshall a toujours été supérieure aux 900 kg imposés avec une dispersion légèrement plus faible que pour les autres produits traités. La différence de stabilité entre l'enrobé amélioré ou non par la pierre d'akjoujt ne s'est pas matérialisée très franchement (gain de 45 kg sur la valeur moyenne), ceci trouvant son explication dans l'utilisation d'un 0/10 sableux à la place du gravillon souhaitable. Les densités Marshall à la fabrication ont donné des valeurs satisfaisantes, le pourcentage de vides répondant aux prescriptions imposées.

Les quelques valeurs de densité « in situ » semblent indiquer que l'aptitude au compactage de ces matériaux est bonne et que la mise en œuvre a été de façon satisfaisante dans l'ensemble.

G—Conclusions

La réalisation des travaux de l'Aéroport International de Nouakchott, en République Islamique de Mauritanie, a présenté un certain nombre de particularités, tant au niveau des matériaux que du matériel utilisé. En effet, si ces matériaux coquillés ont déjà été l'objet d'une large utilisation à Nouakchott, notamment dans le domaine du béton, celle-ci a toujours été faite avec des coquillages à l'état brut (tout-venant) ou simplement criblés. Dans le cadre de cette entreprise, ce fut donc la première expérience de réalisation d'un ouvrage à partir de coquillages ayant subi une transformation par concassage ou broyage.

La centrale d'enrobage, du type Tambour sécheur malaxeur a vu d'autre par sa première utilisation en Afrique dans le cadre de ce chantier.

Chaque partie de l'ouvrage exécuté ayant déjà fait l'objet d'une conclusion, nous ne reviendrons donc pas en détail, et nous ne retiendrons ici que les points essentiels qui nous ont été enseignés sur ce chantier.

Au niveau du matériel, l'entreprise disposait d'un parc important -installation de criblage, de concassage, de broyage, centrale T.S.M., finisseur, compacteur vibrant, lisse et rouleau à pneus- qui s'est avéré dans l'ensemble assez bien adapté aux conditions très particulières de ce chantier. La centrale d'enrobage tambour sécheur malaxeur, de conception différente des installations

classiques a permis un malaxage et enrobage en général satisfaisant aux températures utilisées (150° environ).

Un des avantages de cette centrale, est de pouvoir fabriquer des enrobés à température plus basses que les températures généralement employées. Nous avons noté, une moindre production de fumée et poussières avec ce type d'installation par rapport aux installations classiques, notamment en début de chantier. Ce phénomène a été moins manifeste, en fin de chantier, du fait sans doute encrassement excessif du tambour sécheur mélangeur. Le système d'asservissement liant-granulat, n'a pas permis d'obtenir un dosage en bitume régulier. Nous ne pensons toutfois pas que ce système soit à remettre en cause, mais que les anomalies constatées trouvent plus leurs explications dans la variation de granularité des granulats, et de qualité de bitume (une connaissance parfaite de la densité du bitume à la température d'emploi en été souhaitable).

Le concasseur à percussion utilisé pour le concassage des coquillages était bien adapté à ce type de matériau. Le broyeur à barre par contre semble ne pas avoir été utilisé au mieux de ces possibilités, l'alimentation avec un matériau coquillé concassé à squelette ayant été souhaitable à la place du sable concassé. Le choix fait par l'entreprise à ce niveau, a été plus économique que technique, compte tenu des quantitatifs de granulats concassés produits.

Le matériel de compactage -vibrant et pneus pour le tout-venant coquillé- finisseur, vibrant, lisse et pneus, pour les matériaux traités aux liants hydrocarbonés, a permis des mises en œuvre satisfaisantes, hormis pour la grave améliorée au bitume.

Au niveau des granulats de base, tout-venant coquillé brut 0/31⁵, coquillage criblé, et coquillage concassé (ou broyé), une dispersion au niveau de la granularité est apparue dans tous les cas. Cette dispersion trouve en grande partie ses explications dans la multitude des gites de tout-venant coquillé brut, ayant servi à l'élaboration des matériaux. La propreté des sables ne répondait que rarement aux prescriptions imposées, mais les fines n'étaient toutefois pas plastiques.

Ces matériaux étant les seuls de la région, il était donc impératif de les utiliser, mais des améliorations auraient pu être réalisées afin de se rapprocher des prescriptions imposées. L'entreprise a été amenée à extraire des quantités importantes de tout-venant coquillé brut, pour réaliser ce chantier, compte tenu des proportions faibles de gros coquillages pouvant être concassés, qui sont, s'il semble nécessaire de le rappeler pour 1 m³ de tout-venant brut de l'ordre de 45 % de sable coquillé criblé, 40 % de gravillon coquillé criblé,

10 % de sable concassé coquillé et 5 % de gravillon concassé coquillé.

La pierre concassée d'Akjoujt n'a pas été transformée en un gravillon mais en une grave. Pour obtenir un gravillon, un criblage à 5 mm, techniquement possible, était nécessaire en plus du criblage à 12,5 mm, mais dans ce cas il eût fallu bien sûr, approvisionner et concasser, un volume de pierre d'akjoujt double et celui qui a été utilisé.

Au niveau des matériaux traités ou améliorés par les liants hydrocarbonés, les formulations proposées et retenues ont permis une utilisation optimale des matériaux. Il eût été sans doute possible d'obtenir des formules de graves et bétons bitumineux mieux graduées, mais cela aurait alors exigé le traitement de tout-venant coquillé dans de plus grandes proportions, laissant en fin de chantier des stocks de certaines classes granulaires inutilisés.

Dans l'ensemble les « matériaux noirs » produits ont présenté une granularité, un dosage en bitume et des performances Marshall très dispersées. Qu'il s'agisse de la grave bitume, ou des enrobés avec ou sans pierre d'akjoujt, une évolution de la granularité s'est manifestée, d'une façon plus au moins probante suivant le matériaux, après passage dans le tambour sécheur malaxeur, sous la forme d'une réduction du squelette et de production de fines. Plusieurs explications peuvent être avancées pour tenter de résoudre ce phénomène.

Malgré les dispersions constatées, les stabilités Marshall ont toujours répondu aux prescriptions imposées. La couche de roulement de la piste présente des performances sensiblement identiques à la couche de liaison, malgré l'adjonction de pierre concassé d'akjoujt, dont le caractère très sableux n'a de ce fait pas permis l'amélioration escomptée. La mise en œuvre des enrobés a été menée pensons nous, de façon satisfaisante (densité et pourcentage de vides correctes).

La grave améliorée au bitume, présente par contre pour sa part un très fort pourcentage de vides dû à l'allure des coquillages criblés.

Ce chantier aura donc permis de découvrir une partie des possibilités offertes par les matériaux coquillés. Techniquement il est certainement possible d'améliorer les performances obtenues avec ces matériaux coquillés traités aux liants hydrocarbonés, en modifiant les formulations, de même qu'il est possible, par des essais appropriés de tenter d'expliquer les évolutions constatées, et de vérifier le comportement à long terme de ce matériau. Nous pensons que de telles investigations sont souhaitables afin d'avoir une meilleure connaissance des caractéristiques de l'ouvrage réalisé à Nouakchott.