

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL



ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE THIÈS

GC.0308

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR DE CONCEPTION

TITRE : REHABILITATION DE LA PISTE 12 - 30 DE L'AÉROPORT
DE DAKAR - YOFF (DEUXIÈME PARTIE)

AUTEUR : SERIGNE LEYE THIOUNE

DIRECTEUR : ANDRÉ PARIS, ING OIQ

CO-DIRECTEUR : MASS M'BAYE, ING EPT

DATE : MAI 1985

A mon père

A ma mère

A ma sœur, kéné

A tous mes Amis.

REMERCIEMENTS

- Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à M. André Paris, professeur à l'école Polytechnique de Thiès, notre directeur de projet dont la constante disponibilité, les conseils nous ont aidé à mener à bien cette présente étude.

- Nous tenons à remercier :

- M. Nass H'Baye Chef du service des infrastructures de l'A. S. E. C. N. A à qui nous devons le sujet de cette thèse et pour ce notre co. directeur de projet, pour le soutien moral et les renseignements qu'il nous a livrés, pour la disponibilité dont il a fait preuve.

- Tout le personnel de l'A. S. E. C. N. A avec qui nous aurons pris contact, pour son entière disponibilité.

- M. Michel BORNAT, technicien du laboratoire de Mécanique des sols de l'école Polytechnique de Thiès.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui de près ou de loin nous ont soutenu moralement durant ce travail.

SOMMAIRE

Le présent rapport constitue l'avant-projet de la deuxième section de l'étude générale de la remise en service de la piste 12-30 de l'aéroport de Dakar-Yoff (la première partie ayant fait l'objet du projet de fin d'études de M. Stanislas N'Dour) port : le calcul de la structure d'une chaussée neuve en rapport avec la durée de vie envisagée (vingt ans), le trafic journalier (trente mouvements), les charges dues à l'aéronef de calcul (Boeing 747) et la portance du sol de fondation (C.B.R); le calcul de l'épaisseur du renforcement; l'évaluation de la qualité et de la quantité des matériaux; l'évaluation des infrastructures à réaliser et à réhabiliter; le coût du projet et enfin l'entretien recommandé.

Et est ainsi qu'on a employé plusieurs méthodes de dimensionnement des chaussées pour les aérovolomes les plus courantes.

Le coût de réhabilitation de la piste et de ses accessoires remonte à **3 MILLIARDS 404 MILLIONS H.T.V.A.**

TABLE DES MATIERES

	Pages
Chapitre I : Introduction	1
Chapitre II : Description des méthodes usuelles de dimensionnement des chaussées	4
2.1. Méthode de l'ASphalt Institute	4
2.2. Méthode Canadienne	5
2.3. Méthode C.B.R	5
2.4. Méthode Française de dimensionnement forfaitaire ...	6
2.5. Méthode Française de dimensionnement optimisée	6
2.6. Méthode de la F.A.A.	6
Chapitre III : Dimensionnement de la piste	8
3.1. Facteurs à considérer dans le dimensionnement	8
3.1.1. Le sol	8
3.1.2. Les charges	8
3.1.3. La pression des pneus	8
3.1.4. Le trafic	10
3.2. Calcul de l'épaisseur de la chaussée	10
3.2.1. Hypothèses de calcul	10
3.2.2. Méthode C.B.R	13
3.2.3. Méthode Française de dimensionnement forfaitaire ...	14
3.2.4. Méthode de la F.A.A.	17
Chapitre IV : Calcul de l'épaisseur de renforcement	19
4.1. Méthode des coefficients d'équivalence	19
4.2. Méthode des rapports de substitution	19
4.3. Caractéristiques de la chaussée existante	20
4.4. Calcul de l'épaisseur de renforcement à partir de la méthode C.B.R.	20

4.4.1. Méthode des coefficients d'équivalence	20
4.4.2. Méthode des rapports de substitution	20
4.5. Calcul de l'épaisseur de renforcement à partir de la méthode française de dimensionnement forfaitaire	21
4.5.1. Méthode des coefficients d'équivalence	21
4.5.2. Méthode des rapports de substitution	21
4.6. Calcul de l'épaisseur de renforcement à partir de la méthode de la F. A. A.	22
4.6.1. Méthode des coefficients d'équivalence	22
4.6.2. Méthode des rapports de substitution	22
Chapitre <u>V</u> : Etude des Matériaux	24
5.1. Introduction	24
5.2. Les Agrégats	25
5.2.1. Caractéristiques exigées des agrégats	26
5.3. Le bitume	27
5.4. Les tapis d'usés	28
5.5. Calcul des quantités de matériaux	29
Chapitre <u>VI</u> : Estimation des coûts de Remise en état de la piste R-30	32
6.1. Description Sommaire	32
6.2. Quantités	32
6.3. Réference des prix unitaires	32
6.4. Conclusion	32
Chapitre <u>VII</u> : Entretien Recommandé	36
Chapitre <u>VIII</u> : Conclusion et Recommandations	37
References	38
Annexe 1 : Les Coefficients d'équivalence	39
Annexe 2 : Les rapports de substitution	41

Annexe 3.1: Profils en travers	42
Annexe 3.2: Devis estimatif relatif à la piste 12-30 (juillet 1978)	48
Bibliographie	49

I. INTRODUCTION

La piste 12-30 qui était conçue dans un esprit économique en vue de recevoir des DC 6 a été mise en service en 1956 et était construite suivant les techniques d'alors.

Elle a une longueur de 2410 m, sur une largeur de 60 m et est constituée de chaussées souples et rigides dont les caractéristiques sont les suivantes :

- Chaussée souple : - longueur : 2010 m
 - épaisseur : 55 cm dont
 - 10 cm d'enrobés
 - 10 cm de tout-venant
 - 20 cm de herisson
 - 15 cm de banc-sable

- Chaussée rigide : - longueur : 400 m
 - épaisseur : 50 cm dont
 - 20 cm de béton hydraulique
 - 5 cm de sable de basalte stabilisé à l'émulsion de bitume
 - 15 cm de tout-venant

Les dégradations observées permettent d'évaluer le mauvais comportement de la piste : la structure vue plus haut est incapable de supporter la circulation lourde actuelle et future.

Le but des études de renforcement est de mettre en place une piste dont la structure serait capable de supporter à plus ou moins long-terme, les charges qui lui sont infligées périodiquement par les gros-porteurs sans dommages.

La remise en service de cette piste permettra pour des raisons de sécurité de la navigation aérienne de décongestionner la piste principale 01-19 : en évitant aux avions légers de l'utiliser pendant certaines périodes de l'année où les vents traversiers l'avaient parfois dangereuse.

Elle pourrait aussi être utilisée par les gros porteurs pour des "convols exceptionnels"; c'est d'ailleurs fort de cela que le Boeing 747 est choisi comme aéronef de calcul.

Le seul type de renforcement qui s'impose est le renforcement couple car étant largement le plus économique dans un pays sahélien comme le nôtre : on aura un tapis d'usés denses posés à chaud.

Compte-tenu de la grande surface à renforcer, le rechargement suivant sera adopté :

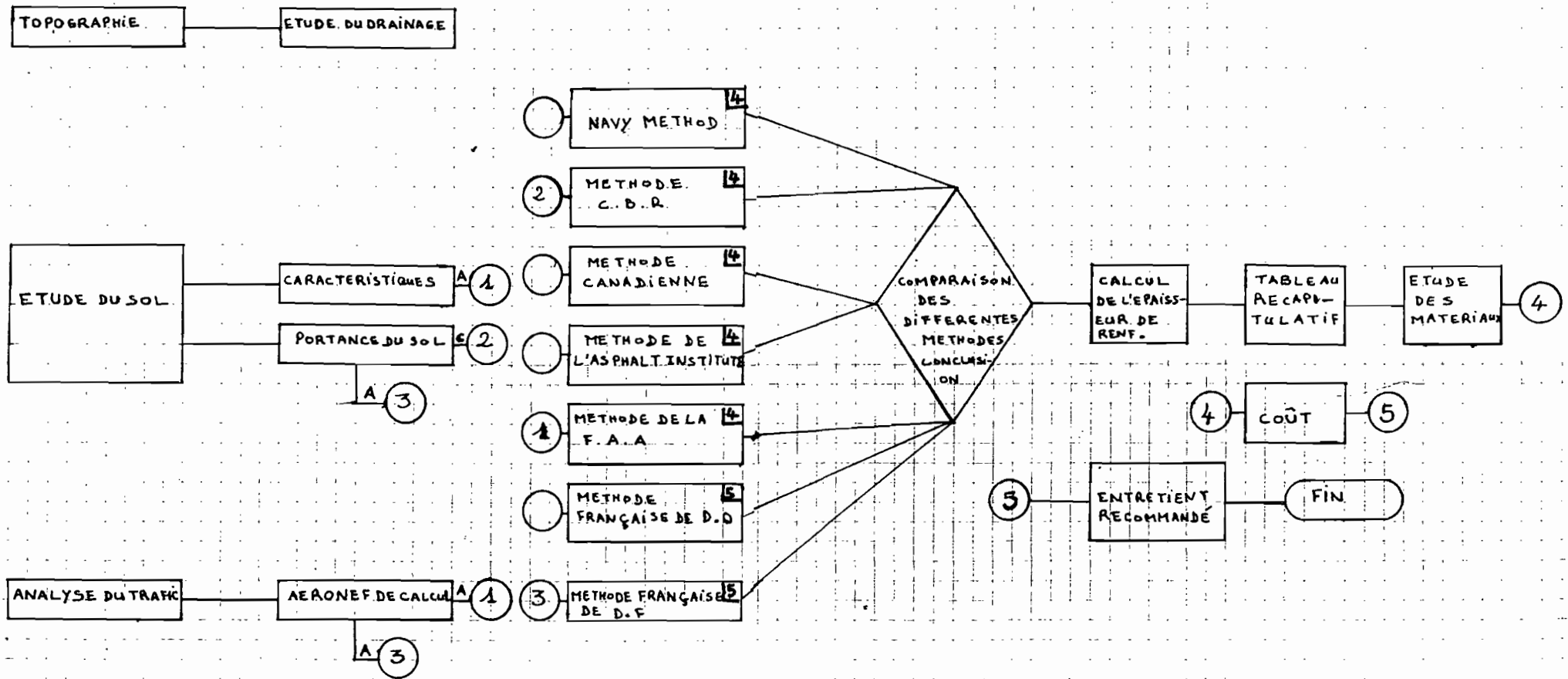
- renforcement en pleine épaisseur sur les 45 m centraux
- raccordement latéraux de 7,5 m de part et d'autre de la bande centrale pour atteindre la longueur totale de la piste qui est de 60 m

des infrastructures à réaliser sont

- la construction d'un taxiway d'une longueur de 1,3 km sur une largeur de 20 m, le long de la piste
- la réhabilitation du taxiway existant sur une longueur de 1,9 km
- la réhabilitation des bretelles d'accès et de la palette de retournement sud
- la réhabilitation des ouvrages d'abaissement et de drainage.
- on fera une estimation du coût de la signalisation horizontale et du balisage électrique.

ASECNA-AEROPORT DE DAKAR-YOFF: RENFORCEMENT DE LA PISTE 12-30

ORGANIGRAMME DE CONCEPTION



A: PAR ABAQUE

C: PAR CALCUL

C.B.R: CALIFORNIA BEARING RATIO

F.A.A: FEDERAL AVIATION AGENCY

D.F et D.O: DIMENSIONNEMENT FORFAITAIRE et DIMENSIONNEMENT OPTIMISE

□: REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

FIGURE 1

II - DESCRIPTION SOMMAIRE DES METHODES USUELLES DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

- 2.1. Méthode de "L'Asphalt institute" : [4]

Cette méthode est développée pour des avions dont le poids brut est supérieur à 27300 kg. Elle s'applique à une chaussée construite uniquement avec des enrobés (mélanges bitumineux).

La méthode est basée sur l'hypothèse que les enrobés et le sol se comportent comme des matériaux purement élastiques. Ainsi l'application d'une charge sur la chaussée produit deux états de contrainte critiques : la déformation unitaire horizontale de traction à la base de la fondation bitumineuse et la déformation unitaire verticale de compression sur le sol de plate-forme.

Pour déterminer l'épaisseur requise de la chaussée, on calcule les deux états de contrainte en relation avec l'épaisseur de la chaussée et les modules d'élasticité de l'enrobé et du sol ; les contraintes de traction dans le revêtement bitumineux et de compression sur le sol ne doivent pas excéder les contraintes maximales admissibles.

La méthode requiert la température moyenne annuelle et une étude détaillée du trafic durant la période de design.

2.2. Méthode 'Canadienne' [4]

Les principaux facteurs considérés dans la méthode sont : le climat, la charge des avions et le type de sol négligé par sa capacité portante qui est mesurée l'essai de chargement par plaque 'in situ'.

L'épaisseur de la chaussée est calculée par la formule de

N.W. McLeod, soit :

$$t = K \log P/S_A$$

où

t = épaisseur requise de la chaussée en centimètres de matériaux granuleux équivalents

K : constante qui dépend du diamètre de la plaque portante et de la capacité d'une épaisseur unitaire de matériaux de fondation de répartir la charge sur le sol.

P : charge de roue simple équivalente de l'avion (KN)

S_A : charge requise appliquée sur une plaque de mêmes dimensions que la surface de contact de P , qui ne pose sur le sol pour produire une déflexion de 12,5 mm ou à 10 répétitions de charge (KN).

2.3. La Méthode C.B.A. [4]

Cette méthode développée par le "U.S Corps of Engineers" utilise les paramètres suivants :

- la charge sur roue équivalente (P) en N
- le facteur de répétition (C) qui tient compte à la fois du nombre de répétitions et de la distribution du trafic sur la chaussée.

- la pression des pneus (p) en MPa
 - l'indice de portance C.B.R. en %
- Pour déterminer l'épaisseur requise de la chaussée t en pouces, on utilise l'équation suivante :

$$t = (0,23 \log C + 0,144) \sqrt{\frac{P}{4,45} \left(\frac{1}{8,1 \times \text{C.B.R.}} - \frac{0,0069}{p \pi} \right)}$$

- 2.4. Méthode Française de dimensionnement forfaitaire [5]

Cette méthode est utilisée en l'absence de données précises ou lors d'un avant-projet.

L'épaisseur de la chaussée est déterminée graphiquement en fonction du CBR du sol de fondation et de la charge par roue simple équivalente de l'aéronef de calcul.

- 2.5. Méthode Française de dimensionnement optimisé [5]

Cette méthode est préférable si l'on dispose de prévisions de trafic suffisamment fiables et précises sur toute la durée de vie envisagée pour la chaussée car elle prend en compte tous les types d'avions produisant un effet significatif sur la chaussée.

- 2.6. Méthode de la Federal Aviation Agency (F.A.A.) [4]

Elle est essentiellement basée sur :

- une classification des sols d'après les résultats d'analyse granulométrique et des essais de consistance.
- une classification du terrain d'après les conditions de drainage et la gélivité des sols.
- une analyse de la circulation anticipée de l'aéronautique

concernant le poids des avions, le nombre de mouvements et la densité de la circulation sur l'aire considérée.

- l'emploi des courbes de calcul qui donnent la relation entre l'épaisseur totale requise de la chaussée, le poids de l'avion et la classification du terrain de fondation.

III - DIMENSIONNEMENT DE LA PISTE

3.1 Facteurs à considérer dans le dimensionnement

3.1.1 - Le SOL : C'est en définitive le sol qui supportera les charges, qui circulent sur la chaussée et c'est essentiellement de la nature du sol que dépendra l'épaisseur de la chaussée.

L'étude du sol est un élément extrêmement important. On doit en étudier toutes les caractéristiques : granulométrie, perméabilité, teneur en eau, densité en place, gonflement au contact de l'eau et déterminer sa teneur en eau optimum et sa densité maximum par l'essai proctor, son indice porteur par la méthode C.B.R.

Le calcul de la chaussée se fera en prenant comme hypothèse de base le fait que la chaussée est établie sur un sol naturel car les remontées capillaires existent toujours dans le sol et la chaussée imperméable oppose à l'évaporation.

3.1.2 Les charges : Un aéronef exerce des charges sur le sol, il est bien évident qu'une piste dotée calculée pour l'avion qui crée les plus fortes contraintes dans la chaussée.

Les différentes charges à prendre en compte sont :

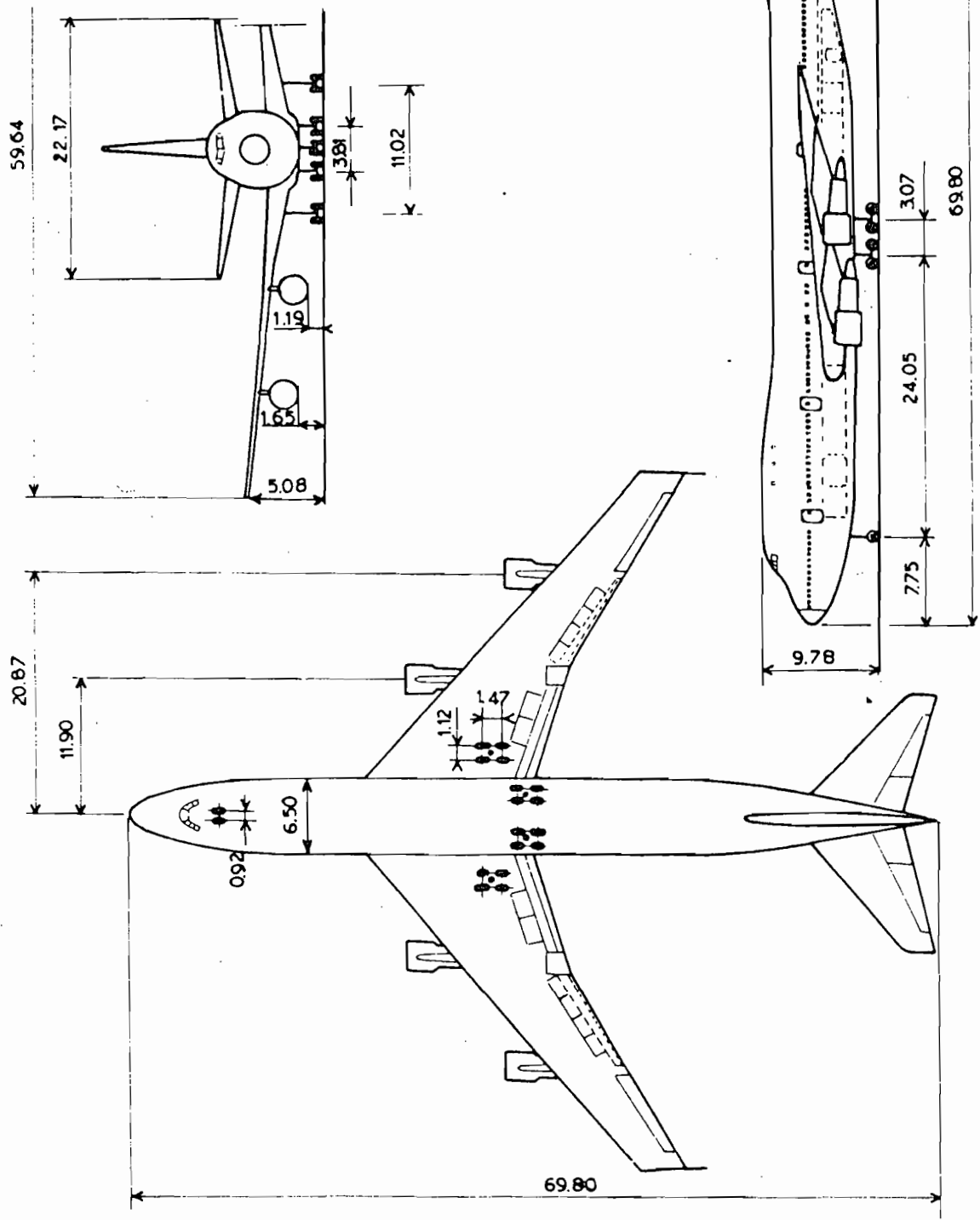
- le poids brut de l'avion
- la charge de la roue simple équivalente : c'est la charge qui appliquée sur une roue unique produit dans la chaussée les mêmes contraintes qu'une charge sur jante ou sur un système de roue donné (train d'atterrissage complet).

3.1.3 - la pression des pneus : la charge étant transmise à la chaussée par les pneus, leur pression de gonflage a donc un effet extrêmement important sur les couches de surface : elle produit des effets de cisaillement très importants à la limite

BOEING 747

MODELES B, C

Poids à vide équipé	166 T
Poids maxi au décollage	351,8 T
Poids maxi à l'atterrissage	256 T
Nombre de sièges	366 à 490
Rayon d'action	4000 NM



Pression du pneumatique	12,66 Kg/cm ²	13,01 Kg/cm ²
Charge maxi sur la jambe:	- statique 40,46 T	- au freinage à 3m/s: 58,9 T

FIGURE 2 [7]

de la zone d'application de la roue.

- 3.1.4. de trafic: Son importance fait apparaître pour les piste la notion de fatigue. En effet les dégradations des pistes croissent avec le nombre des mouvements.

3.2. CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DE LA CHAUSSEE

3.2.1. Hypothèses de calcul:

- durée de vie de la chaussée : 20 ans
 - trafic journalier : 30 mouvements par jour avec un taux d'accroissement annuel estimé à 6%.
- L'actualisation du trafic se fait suivant la relation:

$$t = t_0 (1 + d)^n$$

où

t : trafic escompté à l'année n

t_0 : trafic initial

d : taux d'accroissement du trafic

Le nombre de mouvements durant toute la durée de vie de la piste (20 ans) est:

$$30 \times 20 \times 365 (1 + 0,06)^{20} = 702363 \text{ mouvements}$$

- Charge par roue équivalente
 - Avion de calcul : BOEING 747 modèles B, C
 - type d'atterrisseur : complexe - train principal à 4 bogies avec une répartition égale de la charge.
 - Atterrisseur de calcul : atterrisseur principal
 - Charge maximum sur la jante = 82,45 tonnes

- Pression pneumatique : 1,301 MPa.
- La configuration d'une jambe d'atterissage est la suivante.

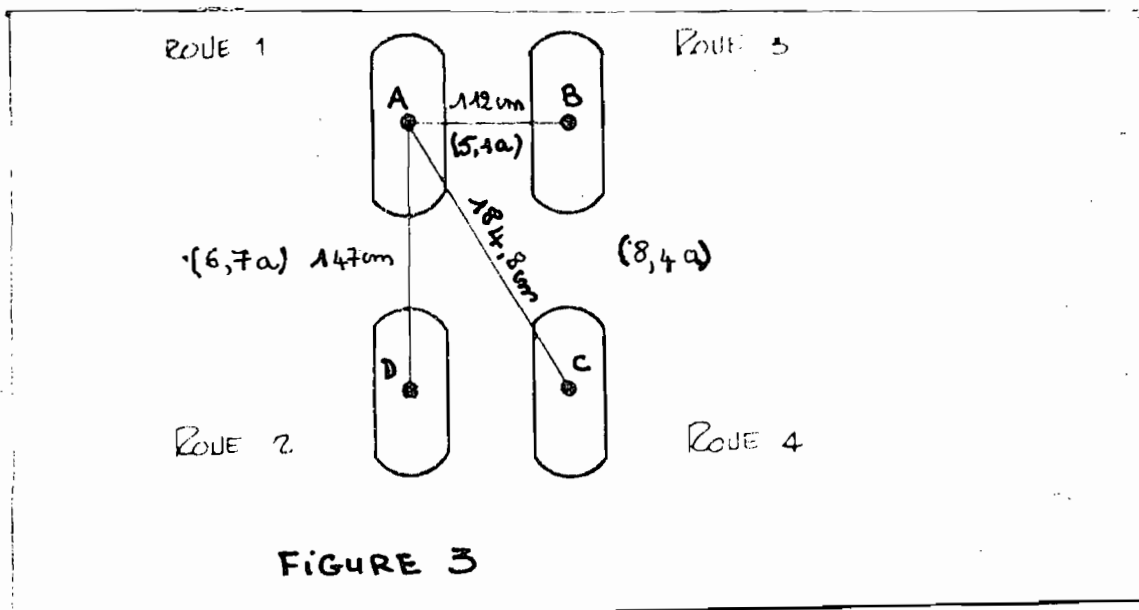


FIGURE 3

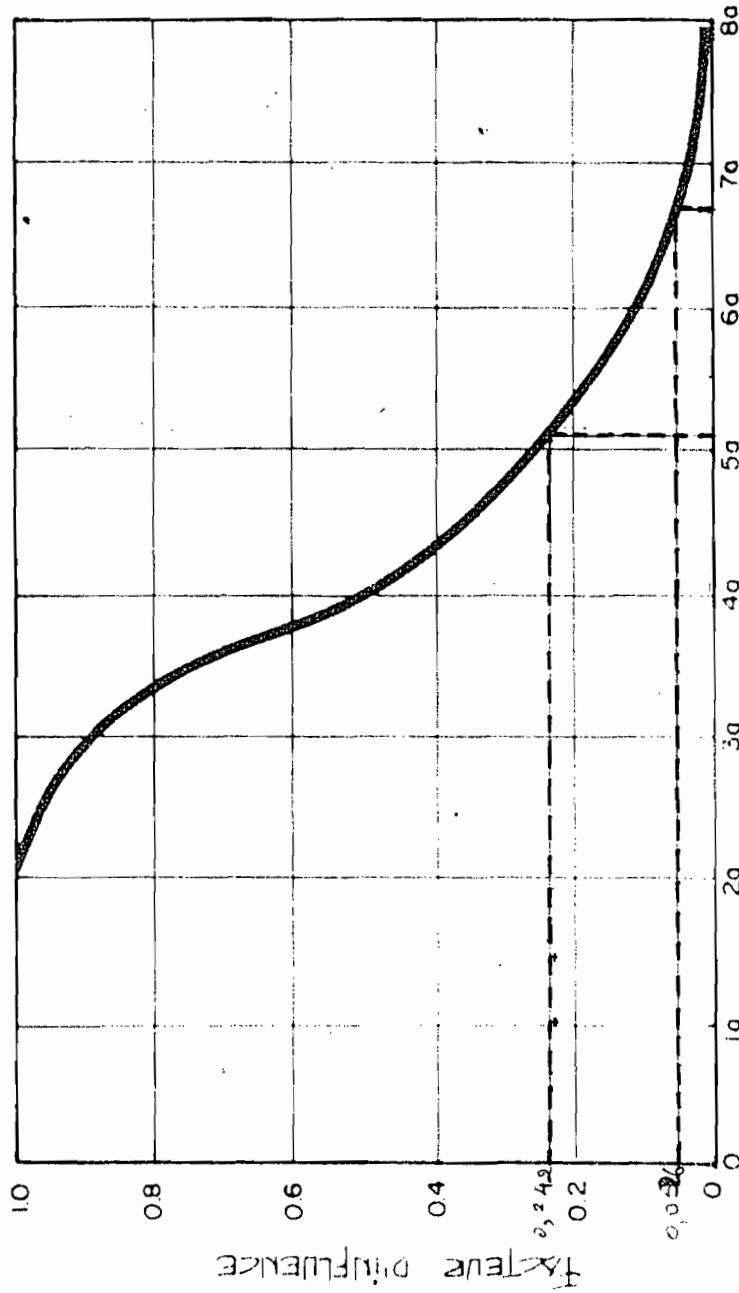
- Soit A le point d'application de la charge.
- la charge par roue est : $\frac{82,45 \text{ t}}{4} = 20,62 \text{ t}$
 - la surface de contact par pneu est : $1526 \text{ cm}^2 = S$
 - le rayon d'influence de la charge est donné par la relation :

$$a = \sqrt{\frac{S}{\pi}} \quad \text{donc } a = \sqrt{\frac{1526}{\pi}} = 22 \text{ cm}$$

- Expressions maintenant toutes les dimensions de la jambe d'atterissage en fonction de a . On obtient la fig. 3

FIGURE 4 [4]

FACTEURS D'INFLUENCE SELON L'ESPACEMENT DES ROUES.



DISTANCE ENTRE LE POINT D'APPLICATION DE LA CHARGE DE LA ROUE
 SURS ÉQUIVALENTE ET UNE AUTRE CHARGE.

0 = RAYON DE CHARGE

- Déterminons maintenant à l'aide de la figure 4 le facteur d'influence de chacune des roues sur le point d'application de la charge de la roue simple équivalente on obtient la figure 5.

distance par rapport à A	Facteur d'influence
0	1
6,68a	0,0526
5,1a	0,242
8,4a	0
	<hr/>
	1,2946

FIGURE 5

- La charge par roue simple équivalente est le produit de la somme des facteurs d'influence et de la charge par roue pit : $P = 1,29 \times 20,62 = 26,69t = 27t$.
- le C.B.R de calcul est : $7,4\%$ [12]

3.2.2. Méthode C.B.R.

l'épaisseur de la chaussée est donnée par la formule

$$t = (0,23 \log c + 0,144) \sqrt{\frac{P}{4,45 \left(\frac{1}{8,1 \text{ C.B.R}} - \frac{0,0069}{72 \pi} \right)}}$$

où

$$C = 702363$$

$$P = 266900 \text{ N}$$

$$\text{C.B.R} = 7,4\%$$

$$f = 1,3 \text{ MPa}$$

d'où

$$t = \left(0,23 \log 702363 + 0,144 \right) \sqrt{\frac{266900}{4,45} \left(\frac{1}{8,4 \times 7,4} - \frac{90069}{1,3 \times \pi} \right)}$$

$$= 44,64 \text{ Ponces.}$$

$$\text{soit } 113 \text{ cm}$$

3-2.3 Méthode Française de dimensionnement forfaitaire

Les abaques de calcul de l'épaisseur de la chaussée en fonction du C.B.R. du sol de fondation et de la charge par roue simple équivalente sont faites pour un trafic de 10 mouvements par jour et pour une durée de vie escomptée de la chaussée de 10 ans.

or le cas de notre piste correspondrait à un trafic de 60 mouvements par jour pendant 10 ans.

Avant d'utiliser cette méthode, il faut majorer la charge de calcul. Le facteur de correction de la charge est donné par l'abaque de la fig. 6

$$\text{soit } C = 0,85$$

$$\text{donc la charge de calcul devient } P = \frac{27}{0,85} = 32 \text{ t}$$

L'abaque de la fig. 7 donnant l'épaisseur totale de la chaussée en fonction du C.B.R. et de la charge par roue simple équivalente donne une épaisseur de 80 cm.

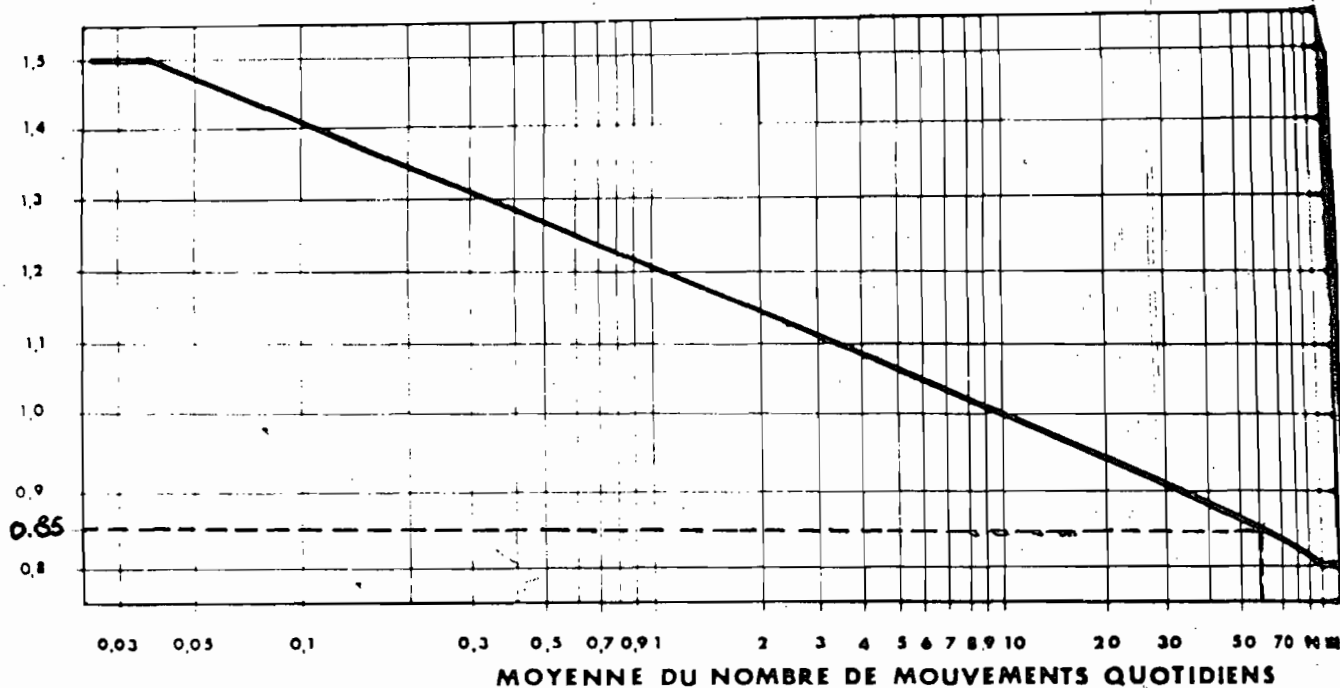


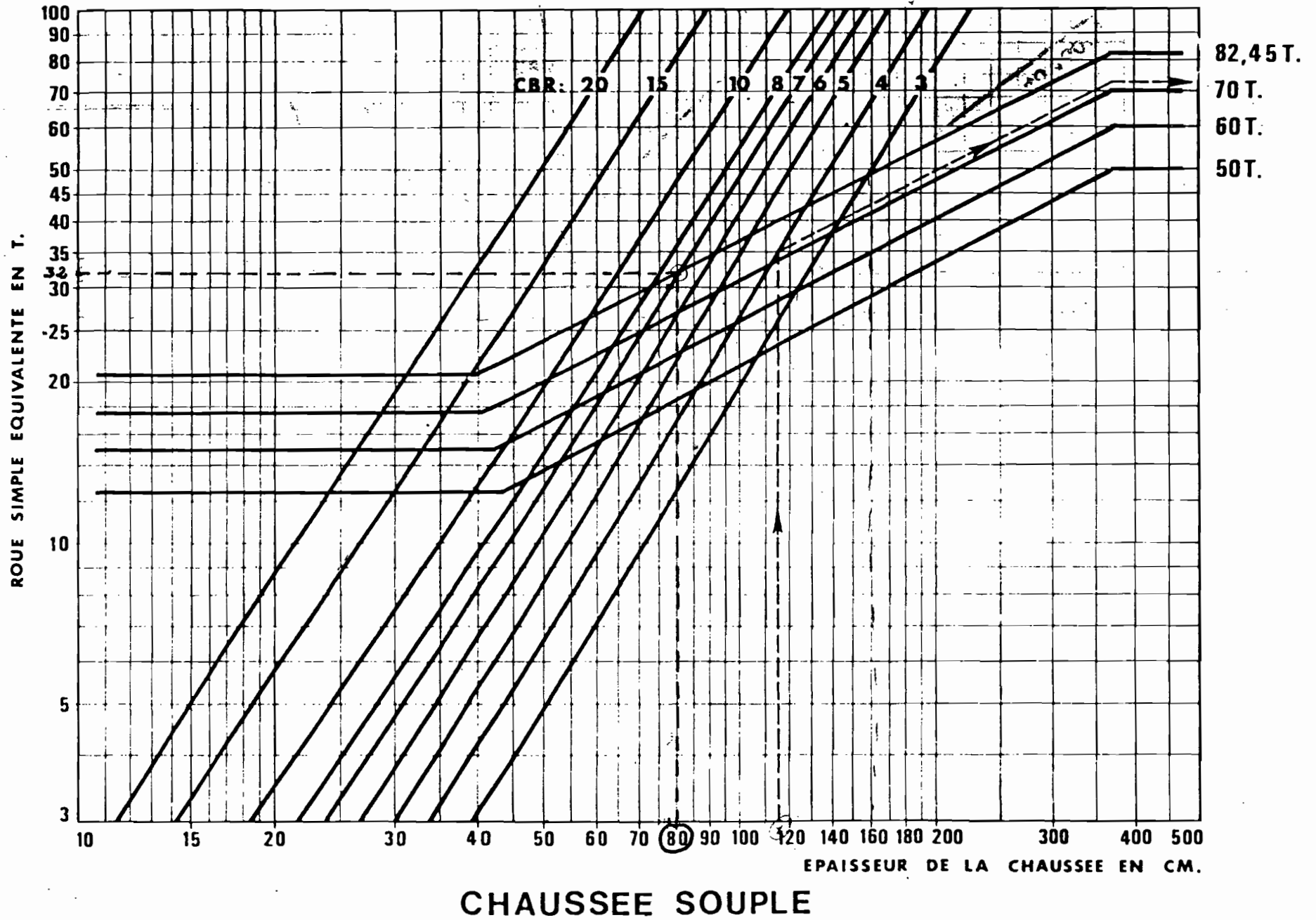
FIG.8 - CORRECTION DE LA CHARGE SERVANT AU DIMENSIONNEMENT,
EN FONCTION DE L'INTENSITE DU TRAFIC.

(CHARGE CORRIGEE = $\frac{\text{CHARGE REELLE}}{c}$)

FIGURE 6 [7]

BOEING 747
ATTERRISSEUR PRINCIPAL

FIGURE 7 [7]



3.2.4. Méthode de la Federal Aviation Agency (F.A.A.)

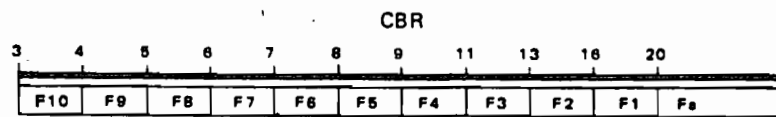
Il a été établi une correspondance entre les facteurs F de la classification des sols et les C.B.R. fig 8

Pour un C.B.R de 7,4% on a un sol de classe F6

De l'abaque de la fig. 9 donnant l'épaisseur totale de la chaussée et celle de la couche de base en fonction de la classi-

fication du terrain de fondation, de la masse au décollage (poids brut) du B-747 (351,8 T) on trouve :

- épaisseur totale de la chaussée : $E = 102 \text{ cm}$
- épaisseur de la couche de base : $E' = 25 \text{ cm}$



CLASSE DU TERRAIN DE FONDATION

Figure 8 [5]

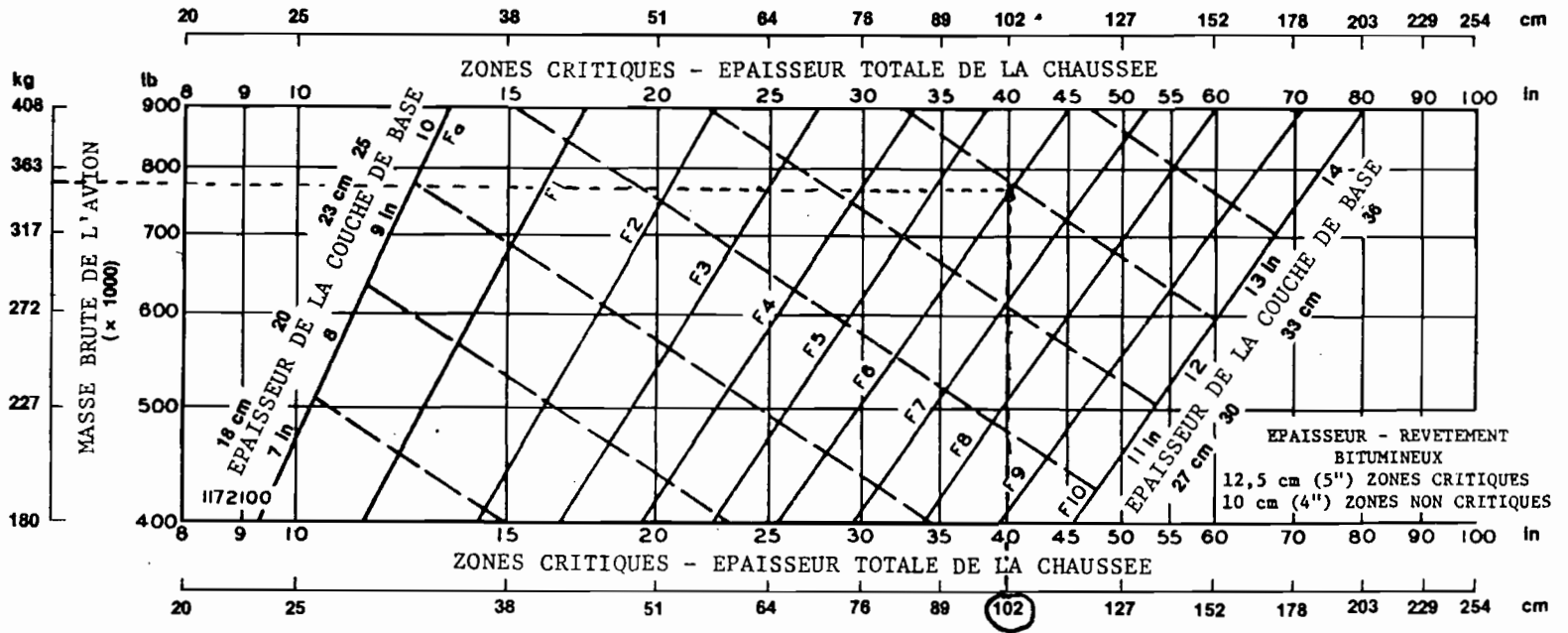


Figure 9 Abaque pour chaussées souples - B-747

[5]

IV. CALCUL DE L'ÉPAISSEUR DE RENFORCEMENT

Pour chaque méthode de dimensionnement, il existe deux méthodes de calcul de l'épaisseur de renforcement :

4.1 Méthode des coefficients d'équivalence :

L'épaisseur de renforcement est égale à l'épaisseur totale de la chaussée moins calculée moins l'épaisseur équivalente de la chaussée existante (c'est la somme des épaisseurs des différentes couches pondérées par leur coefficient d'équivalence) [Annexe .1]

4.2 Méthode des rapports de substitution

On inscrit toutes les épaisseurs des différentes couches de la chaussée, en épaisseur de béton bitumineux à l'aide des rapports de substitution par rapport au béton bitumineux [Annexe 2]

Puis on calcule le degré de la chaussée existante par rapport à la chaussée neuve, et ce-ci va servir pour servir.

L'épaisseur de renforcement sera alors le degré total calculé en posant la somme des degrés calculés pour chaque couche de la chaussée existante.

La table ci. dessous résume les différentes caractéristiques de la chaussée existe. (fig.10).

4-3. Caractéristiques de la chaussée existante

Boucles	Épais. (cm)	coeff. équ. [A.1]	Rapport de subs. [A.2]
Enrobés	10	1	1
tout-venant	10	1	2
herisson	20	0,75	2
Sable	15	0,5	2,7

FIGURE 10

L'épaisseur équivalente de la chaussée est :

$$10 \times 1 + 10 \times 1 + 20 \times 0,75 + 15 \times 0,5 = 42,5 \text{ cm.}$$

4-4 Calcul de l'épaisseur de renforcement à partir de la méthode C.B.R.

4-4-1. Méthode des coefficients d'équivalence

L'épaisseur du renforcement est : $113 - 42,5 = 70,5$ cm de gravier.

$$\text{soit } \frac{70,5}{4} = 17,6 \text{ cm de béton bitumineux}$$

4-4-2. Méthode des rapports de substitution

La structure de la chaussée nouvelle est la suivante :

enrobés : 11 cm

tout-venant : 30 cm

Sable : 15 cm

herisson : 50,5 cm

Le déficit de la chaussée existante par rapport à la chaussée nouvelle couche par couche est:

- tout-venant : $\frac{30-10}{1,3} = 15,4$ cm de béton bitumineux

- herisson : $\frac{50,5-20}{2} = 15,25$ cm " " "

- enrobés : $11-1 = 10$ cm " " "

l'épaisseur totale équivalente du renforcement est:

$$E = 15,4 + 15,25 + 1 = 32 \text{ cm de béton bitumineux.}$$

soit une épaisseur effective de $\frac{32}{2} = 16$ cm de béton bitumineux.

4-5. Calcul de l'épaisseur de renforcement à partir de la méthode de dimensionnement forfaitaire.

4-5-1. Méthode des coefficients d'équivalence :

- l'épaisseur totale équivalente de renforcement est:

$$E = 82,5 - 42,5 = 40 \text{ cm soit une épaisseur effective de } \frac{40}{2} = 20 \text{ cm de béton bitumineux.}$$

4-5-2. Méthode des rapports de substitution

La structure de la chaussée nouvelle est la suivante :

- Enrobés : 11 cm

tout-venant : 30 cm

herisson : 20 cm

base : 15 cm

Les coefficients d'équivalence des couches respectives sont :

2 ; 1 ; 1 ; 0,7

soit une épaisseur totale équivalente de 82,5 cm

Le déficit de la chaussée existante par rapport à la chaussée nouvelle couche pour couche est :

enrobés : 1 cm de béton bitumineux

tout-venant : $\frac{20}{2} = 10$ cm " "

d'où une épaisseur totale effective de renforcement de $10 + 1$ cm = 11 cm de béton bitumineux.

4-6- Calcul de l'épaisseur de renforcement à partir de la méthode F. A. A.

4-6-1. Méthode des coefficients d'équivalence

l'épaisseur totale équivalente de renforcement est :

$E = 102 - 42,5 = 59,5$ cm soit une épaisseur effective de $\frac{59,5}{2} \approx 30$ cm de béton bitumineux.

4-6-2 - Méthode des rapports de substitution :

La structure de la chaussée nouvelle est la suivante :

enrobés : 13,5 cm

tout-venant : 25 cm

benisson : 39,5 cm

paile : 15 cm

Le déficit de la chaussée existante par rapport à la chaussée nouvelle couche pour couche est :

enrobés : 3,5 cm de béton bitumineux

tout venant : $\frac{25 - 10}{2} = 7,5$ cm " "

benisson : $\frac{39,5 - 20}{2} = 9,75$ cm " "

Soit une épaisseur totale de renforcement de 18,25 cm

ASECNA - AEROPORT DE DAKAR-YOFF : RENFORCEMENT DE LA PISTE 12 - 30

TABLEAU RECAPITULATIF

METHODES	DESCRIPTION SOMMAIRE	EPAISSEUR DE RENF. (cm)	CONCLUSIONS
ASPHALT INSTITUTE	4 Elle requiert une analyse bien détaillée du trafic. La méthode est basée sur l'hypothèse selon laquelle les erreurs de la piste se comportent comme des perturbations généralement élastiques.	/	30 mm fournait deux sous-couche caractéristique de l'un ou de l'autre, afin d'être lié avec liaison entre l'épaisseur de la chaussée et les dimensions du terrain.
CANADIENNE	4 Méthode empirique basée sur la formule McLeod. Elle tient compte du climat, de la charge des avions et de la résistance du sol mise en évidence par un essai sur plaque in situ.	/	30 galls était effectuée sur essai par plaque in situ : ce qui est jugé satisfaisant car notre labo. n'est pas équipé en matière de terrain.
CALIFORNIA BEARING RATIO (C.B.R.)	4 Méthode empirique, basée sur une équation donnant l'épaisseur équivalente de la chaussée en cm de gravier standard. Elle tient compte du trafic et de la portance du sol.	13	Les résultats sont satisfaisants. Elle est plus la solution la plus économique.
DIMENSIONNEMENT FORFAITAIRE	5 Le dimensionnement est fait à partir d'une charge de référence, en fonction de la portance du sol. Elle tient compte du trafic et de la durée de vie de la piste. Elle se fait par adaptation.	11	Les résultats sont satisfaisants pour un avant-projet.
DIMENSIONNEMENT OPTIMISÉ	5 Elle tient compte de tous les types d'avion ayant un effet significatif sur la piste : elle requiert une analyse très détaillée du trafic.	/	Ne s'adapte pas au cas particulier car il requiert une analyse minutieuse du trafic.
FEDERAL AVIATION AGENCY (F.A.A)	4 Les courbes de calculs donnent l'épaisseur totale de la chaussée (équivalente) en fonction du poids des avions et de la classification du terrain de fondation.	18, 25	Les résultats sont satisfaisants : - les résultats ne tiennent pas compte du trafic - la classification du sol et plus ou moins arbitraire.

□ REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE. FIGURE 11

V - ETUDE DES MATERIAUX

5.1 - Introduction

Les matériaux servant à la construction des chaussées et la qualité de l'exécution ont une grande influence sur le comportement et la durée de vie des chaussées. En général, une méthode de conception n'est valable que si la qualité des matériaux et l'exécution atteignent des niveaux de qualité spécifiés.

La qualité des matériaux doit normalement être spécifiée en terme de trois paramètres :

a - de niveau moyen de qualité qui est normalement la moyenne arithmétique des résultats d'un nombre suffisant d'épous sur des échantillons représentatifs.

b - d'uniformité généralement définie par les limites de variation ou de tolérance ou encore par l'écart type σ ou le coefficient de variation (V) défini comme suit

$$V = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

où

V : coefficient de variation

X : les résultats individuels

\bar{X} : moyenne arithmétique des résultats.

n : nombre de résultat

Dans certains cas, on spécifie les valeurs minimales pour tenir compte de l'uniformité par exemple en ce qui a trait

à la stabilité.

c. La forme de la distribution des résultats: elle peut généralement la forme de la courbe de distribution normale.

5-2. Les Agrégats

Le granulat est constitué de pierres, de graviers, ou de laitier concassé comprenant ou non d'autres matériaux inertes finement divisés. Il se compose de particules propres, résistantes et durables et ne doit pas comporter de masses d'argile, de matière organique ou d'autres substances nuisibles.

Les caractéristiques exigées des agrégats sont résumées par le tableau 12.

A titre d'exemple, le contrôle de la qualité des agrégats pourra se faire selon les fréquences ci-dessous:

- contrôle de la granulométrie: 1 pour 100 m³ avec un minimum d'un contrôle par jour.
- essai de propreté: 1 pour 100 m³ avec un minimum d'un contrôle par jour
- contrôle de la proportion des concassés: 1 pour 200 m³
- Essai de forme: 1 pour 200 m³
- Essai d'homogénéité: 1 pour 200 m³

Les essais sont effectués au cours de la production ou de la livraison.

Les granulats destinés aux enrobés à chaud doivent être chauffés et déshydratés de façon à obtenir une teneur en eau limite de 0,5%.

5.2.1. Caractéristiques exigées des agrégats

Caractéristiques	TAMIS A.S.T.M	Béton Bitumineux	
		Eouche inf.	Eouche sup.
Séparabométrie (% passant par poids)	1" (25mm)	100	
	1/2" (12,5mm)	70-85	100
	N° 4	40-65	55-75
	N° 10	30-50	35-55
	N° 40	15-30	15-30
	N° 80	5-20	5-20
	N° 200	3-8	3-8
Tenue en concasse' (% min)	Essai ASTM	60	60
	Equivalence sable D 2413	50	50
Perte par abrasion gros agrégat agrégat fin	C 131	25	25
	C 88	12	12
	C 88	16	16

FIGURE 12

5-3-Le bitume

Le type et la qualité du matériaux bitumineux dépendent de la situation géographique et du climat.

L'utilisation du mélange 60/70 est plus judicieuse si l'on veut que notre revêtement possède de bonnes qualités, pour répondre à l'attente des utilisateurs. [13]

Le tableau 13 résume les caractéristiques exigées du bitume 60/70.

Qualités	
Point de ramollissement (méthode bille et anneau A.S.T.M)	43 à 56
Pénétration (essai DOW à 25°C, 100g, Spec, off. A.S.T.M)	60 à 70
Densité à 25°C (méthode A.S.T.M)	1 à 1,1
Perte à la chaleur 163°C pendant 5heures (A.S.T.M)	1%
Pourcentage de pénétration restante par rapport à la pénétration initiale après perte à la chaleur	70%
Point d'inflammabilité, Cleveland (méthode A.S.T.M.)	230°C
Ductilité à 25°C (méthode A.S.T.M)	80
Solubilité dans CS ₂ (méthode A.S.T.M)	99,5%
Geneur en paraffine	4,5%

FIGURE 13

5-4 - Les tapis d'enrobés

Les tapis d'enrobés sont des couches de surface constituées par un mélange de granulats et de liant hydrocarboné malaxé intimement avant (ou pendant) sa mise en œuvre sur la surface à revêtir de façon à assurer l'enrobage uniforme des différents éléments du granulats par le liant, puis étalé à la main ou mécaniquement et compacté par cylindrage. Pour le cas ponctuel, le renforcement se fera en deux couches :

- Une couche inférieure de 6 cm
- Une couche supérieure de 5 cm.

5-5 Calcul des Quantités de Matériaux:

Pour évaluer le volume total des matériaux à mettre en place, on utilise la méthode dite des sections en travers qui est basée sur le principe selon lequel le volume compris entre deux sections (profils) en travers est le produit de la moyenne des aires délimitées par les deux profils et de l'entre-profil (distance entre les deux sections). Les calculs sont résumés dans le tableau ci-dessous. (fig. 14)

P.K	Distance (m)	surf. (m ²)	2x surf. (m ²)	2x vol. (m ³)	Volume TOTAL (m ³)
-0+010	10	0	7,84	78,4	
0+000		7,84			
0+250	250	9,65	17,49	4372,5	
0+500	250	9,89	19,54	4885	
0+750	250	9,86	18,75	4687,5	
1+000	250	8,86	18,15	4537,5	
1+250	250	9,29	18,01	4502,5	
1+500	250	8,72	17,68	4420	
1+750	250	8,96	17,42	4355	
		8,46			

Calcul de la Quantité des matériaux (uite)

P.K. ①	dist. (m) ②	surf. (m ²) ③	2 surf. (m ²) ④	2xVol. (m ³) ⑤	vol. total (m ³) ⑥
2+000	250	9,38	17,84	4460	22152,5
	250		19,49	4872,5	
2+250	150	10,11	20,22	3033	
2+400		10,11			
2+410	10	0	10,11	101,1	

FIGURE 14

Notes :

$$\text{colonne } \textcircled{5} = \text{colonnes } \textcircled{4} \times \textcircled{2}$$

$$\text{colonne } \textcircled{6} = \frac{\sum 2 \times \text{volume}}{2}$$

5.5.1. Calcul du volume effectif d'enrobés

Le pourcentage minimum des vides dans le mélange est 7% [13]

Soient :

V_v : volume des vides dans le mélange

V_m : volume total du mélange

$$V_v = \frac{V_m \times 7}{100} = \frac{22152,5 \times 7}{100} = 1550,68 \text{ m}^3$$

donc le volume des enrobés est:

$$V = V_m - V_v = 22\,152,5 - 1550,68 = 20\,601,8 \text{ m}^3$$

La densité relative des enrobés est de $2,5 \text{ t/m}^3$ [8]

La répartition des enrobés entre les différentes couches de renforcement se fera de la façon suivante :

- Soit V_1 le volume des enrobés pour le renforcement proprement dit (11 cm)

Sa répartition est visualisée par la figure ci-dessous

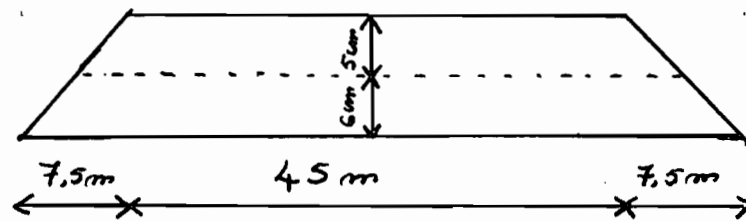


FIGURE 15

$$V_1 = (2400 \times 0,11 \times \left(\frac{45+15+45}{2}\right)) \times 0,93 = 12\,890 \text{ m}^3$$

Soit V_2 : le volume des enrobés pour la couche de reprofilage :

$$V_2 = V - V_1 = 20\,601,8 - 12\,890 = 7\,712 \text{ m}^3$$

soit un poids de $2,5 \times 7\,712 = 19\,280 \text{ t}$

Soit V'_1 : le volume des enrobés pour la couche inférieure de 6cm d'épaisseur :

$$V'_1 = (0,06 \times 2400 \times 52,5) \times 0,93 = 7\,031 \text{ m}^3$$

soit un poids de $7\,031 \times 2,5 = 17\,578 \text{ t}$

Soit V''_1 : le volume des enrobés pour la couche supérieure de 5cm d'épaisseur :

$$V''_1 = (0,05 \times 2400 \times 52,5) \times 0,93 = 5\,859 \text{ m}^3$$

soit un poids de $2,5 \times 5\,859 = 14\,648 \text{ t}$

VI. ESTIMATION DES COÛTS DE REMISE EN ETAT DE LA PISTE 12-30

6-1 Description sommaire:

L'estimation des coûts est relative aux travaux suivants:

- Travaux préliminaires
- Préparation de la surface et de son nettoyage
- Renforcement de la piste proprement dit
- Réhabilitation des approches de la piste et des TAXI-WAY
- l'Assainissement et le drainage
- La signalisation
- les divers
- les impieus.

6-2- Quantités

Les quantités sont, soit calculées, mesurées ou estimées.

Les différentes unités (U), utilisées sont: le kilomètre (Km), le mètre-linéaire (ML), la tonne (T) et le kilogramme (Kg)

6-3. Reference des prix-unitaires (P.U): hors T.V.A

Les prix utilisés sont ceux qui étaient en vigueur dans le marché Sénégalais, tels que prévus par le bulletin de liaison des travaux publics (Oct. 1983), publié par le Ministère de l'Équipement du Sénégal [8]

6-4 Conclusion:

La réhabilitation de la piste et de ses accessoires est estimée à 3,404 milliards de F. C. F. A. hors T. V. A

Dans le présent estimé, ne sont pas inclus les frais d'étude, de service et de contrôle, qui remontent à 7% du coût total du projet soit 238 millions de F. C. F. A.

DEVIS ESTIMATIF RELATIF AU

RENFORCEMENT DE LA PISTE 12-130

ITEM	DESIGNATION DES TRAVAUX	Unités	Quantités	Prix - Unitaires (F.C.F.A)	* Coût TOTAL (millions F.C.F.A)
1	Mise en œuvre				
1.1	Préparation, mise en œuvre du chantier et installation d'une centrale d'ensilage		globale		
1.2	Installation de bureaux et de laboratoire de chantier				3
2-	Préparation de la surface				
2.1.	Nettoyage et brossage de la surface	m ²	144.000	5	0,72
2.2.	Nettoyage des abords de la piste	m ²	48.000	20	0,96
3-	Renforcement de la piste				
3.1	Nettoyage et scellement des fissures	m ²	144.000	600	86,4
3.2.	Éouche d'accrochage	m ²	144.000	160	23,04
3.3	Enrobés denses de béton bitumineux pour couche de reprofilage et de reflachage	t	19280	38500	742,28

DEVIS ESTIMATIF (SUITE)

ITEM	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITES	QUANTITES	PRIX-UNITAIRES (FCFA)	* Coût TOTAL (millions FCFA)
3.4	Enrobés denses de béton bitumineux pour couche inférieure de revêtement	t	17578	38500	676,753
3.5	Enrobés denses de béton bitumineux pour couche supérieure de revêtement	t	14648	53550	784,4
4 -	Accessoires de la piste				
4.1	Taxi-way à construire	km	1,3		255
4.2	Portelles d'accès, raquette de retournement		globale		20
4.3	Réhabilitation du taxi-way existant	km	1,3		200
5 -	ASSAINISSEMENT ET DRAINAGE				
5.1	Nettoyage des fossés existants				0,144
5.2	Reprofilage des fossés existants	ML	1050	400	0,420
5.3	Nettoyage des canalisations et buses existantes	ML	3000	400	1,200
6 -	Signalisation				
6.1	Peinture	KG	1000	1600	1,6
6.2	Balisage électrique				250
7 -	Divers				

DEVIS ESTIMATIF (SUITE)

ITEM	DESIGNATION DES TRAVAUX	UNITES	QUANTITES	Prix unitaires (FCFA)	* Coût TOTAL (millions FCFA)
7.1	Nettoyage du chantier et peçalage final				3.
8.	Impeius				300
TOTAL -----					3403,917
TOTAL arrondi ^c -----					3404,000

FIGURE 16

ESTIME RECAPITULATIF :

ITEM	Ouvrages	* coût (millions FCFA)
1	Travaux préparatoires	58
2	Préparation et nettoyage	1,7
3	Piste - Renforcement. Revêtement	2313
4	Approches de la piste - TAXIWAY	475
5	Assainissement et drainage	1,8
6	Signalisation	251,6
7	Divers	3
8	Impeius	300
		3404,1

FIGURE 17

* coût : Mai 1985

VII - ENTRETIEN RECOMMANDÉ

Les différentes tâches recommandées sont :

- la remise à neuf de la peinture
- Des réparations mineures de la surface, etc...
- Le Nettoyage de la surface, des refectons partielles du revêtement au cas où il y aurait un déversement accident. d de carburant, d'huile et de toute autre matière dissolvant le bitume.

VIII. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le coût de la remise en état de la piste 12-30 est très à l'ave' par rapport à la première estimation très sommaire du coût de son renforcement faite en Juillet 1978. Cette estimation n'était relative qu'à la réhabilitation de la chaussée, et excluant celle de ses accésories [Annexe 3-2]

Pour passer à un avant-projet détaillé, il faudrait :

- faire une campagne de mesures au défectographe
- avoir une population représentative d'essais géotechniques
- relever un profil en travers de la piste à tous les 20 m sur toute sa longueur.
- faire une étude plus détaillée du trafic au niveau de l'Aéroport de Dakar-Yoff afin de mieux cerner les tendances actuelles et futures du trafic.

En plus des raisons évoquées en introduction, notons que la remise en état de la piste 12-30 serait souhaitable dans la mesure où elle servirait de " piste de secours " au cas où il se passerait une catastrophe (un accident) sur la piste principale 01-19.

En somme, il faudrait agir avant d'atteindre le stade où toute refecton serait impossible à réaliser.

REFERENCES

- A1. Annexe 1
- A2. Annexe 2
- A3. FIGURES
- B - Bibliographie.

A-1. Les Coefficients d'équivalence.

Une chaussée souple comprend généralement trois couches différentes, de qualité croissante de bas en haut : la couche de fondation, la couche de base et la couche de roulement.

Pour tenir compte de l'amélioration des qualités mécaniques procurée par le traitement des différentes couches, une couche traitée intervient dans les calculs par son « épaisseur équivalente » obtenue en multipliant son épaisseur réelle par un coefficient d'équivalence.

Inversement, pour des couches non traitées (aux liants), on peut être conduit à attribuer des coefficients ingénieurs à 1.

Les coefficients d'équivalence sont croissants de bas en haut.

Notons en fin que plus une couche est vieille, plus son coefficient d'équivalence est faible.

Les valeurs des coefficients d'équivalence utilisées dans les calculs sont résumées dans la fig. 1

Tableaux des coefficients d'équivalence

Chaussée existante

Désignation	CBR	Coeff.
Enrobé dense	-	1
Revêtement superficiel	-	0
Latérite naturelle	70	0,8
Latérite ciment peu fissurée	160	1
Latérite ciment fissurée	100	0,8
Sable coquillage naturel	60	0,7
Sable coquillage ciment	100	1
Sable bitume	-	0,8
Sable ciment fissuré	100	0,8
Blocs calcaires	-	1
Sable légèrement argileux	20	0,5
Sable limoneux	15	0,4

Renforcement

Enrobé dense ép. : 4 cm	1,8
Enrobé dense ép. > 4 cm	2
Revêtement superficiel	0
Latérite naturelle CBR \geq 80	1
Latérite naturelle CBR < 80	0,8
Latérite ciment ép. : 15 cm	1,5
Latérite ciment ép. \geq 20 cm	1,9
Sable légèrement argileux	0,7

fig. 1 [9]

A. 2 - Les Rapports de Substitution

Certaines combinaisons de matériaux résistent mieux aux efforts de la circulation et les distribuent mieux que d'autres. Il n'en peut que l'épaisseur totale de la chaussée et celle des couches qui la constituent, diffèrent en rapport avec la qualité des matériaux choisis.

Le terme 'Rapport de Substitution' reflète l'influence relative de différents matériaux sur l'épaisseur requise de la chaussée. L'Asphalt Institute recommande les rapports de substitution pour différents types de matériaux :

a. Il faut deux pouces de matériau de fondation granulaire pour remplacer chaque pouce de béton bitumineux ; soit un rapport de substitution de 2 : 1

b. Il faut 2,7 pouces de matériau de sous-fondation pour remplacer chaque pouce de béton bitumineux ; soit un rapport de substitution de 2,7 : 1

c. Il faut 1,35 pouces de matériau de sous-fondation granulaire ; soit un rapport de substitution de 1,35 : 1

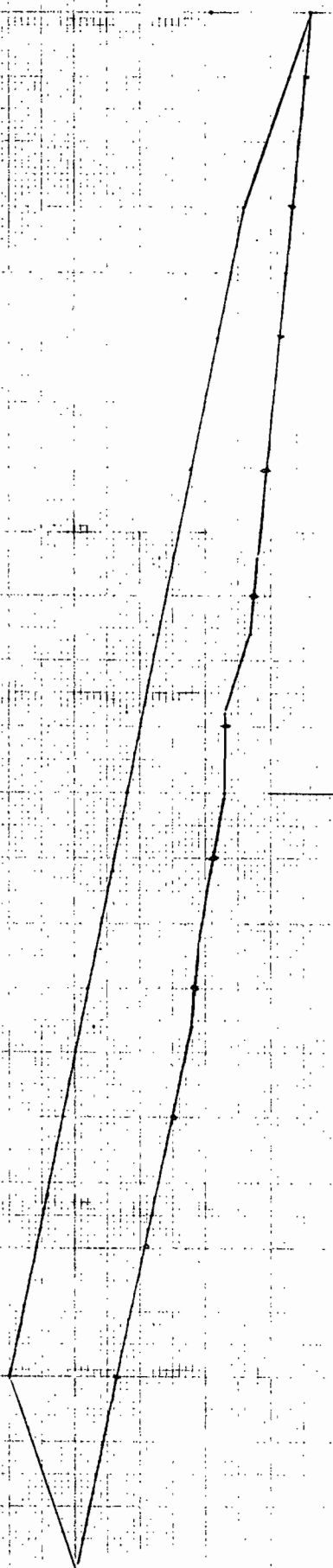
Cependant, seule l'expérience du passé avec des matériaux et des conditions de circulation similaires peut indiquer la possibilité d'augmenter ou de diminuer le rapport de substitution.

A-3.1. Profils en travers

Un profil en travers montrant l'état actuel et futur de la piste a été établi à tous les 250m, exceptés le premier (à 10m du point P.k. 0+000) et les deux derniers (voir fig 14).

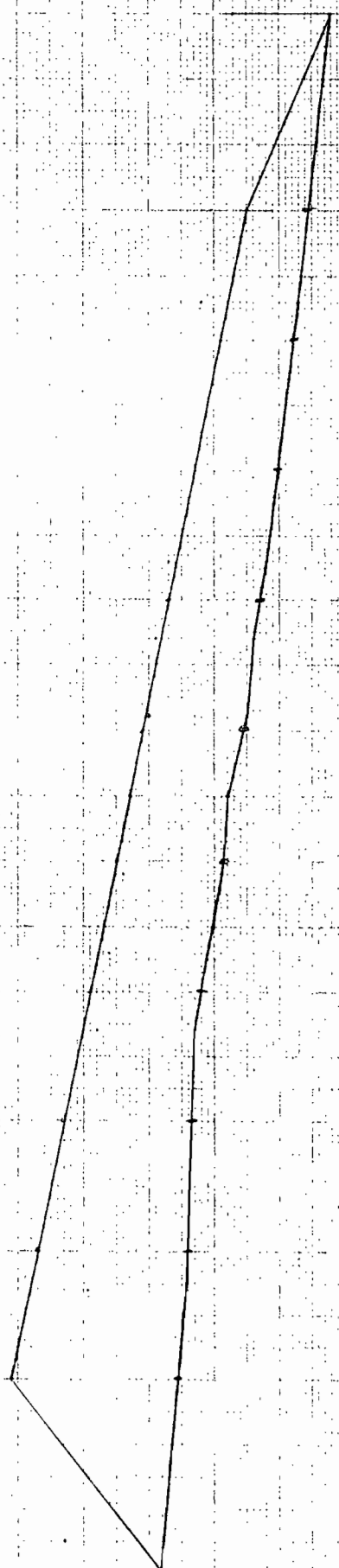
des profils ont été tracés, en prenant comme échelle verticale et horizontale, respectivement : 1/10 et 1/250.

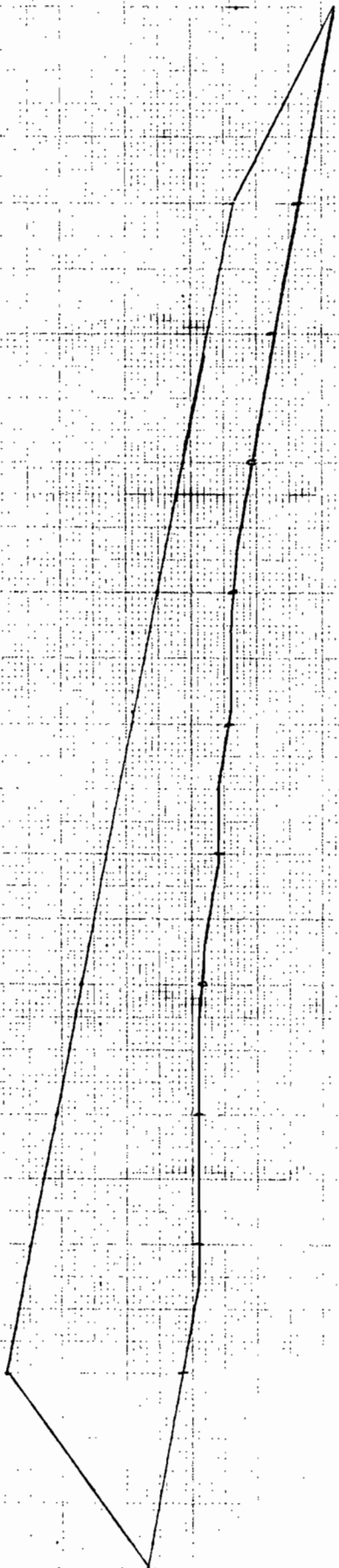
P10



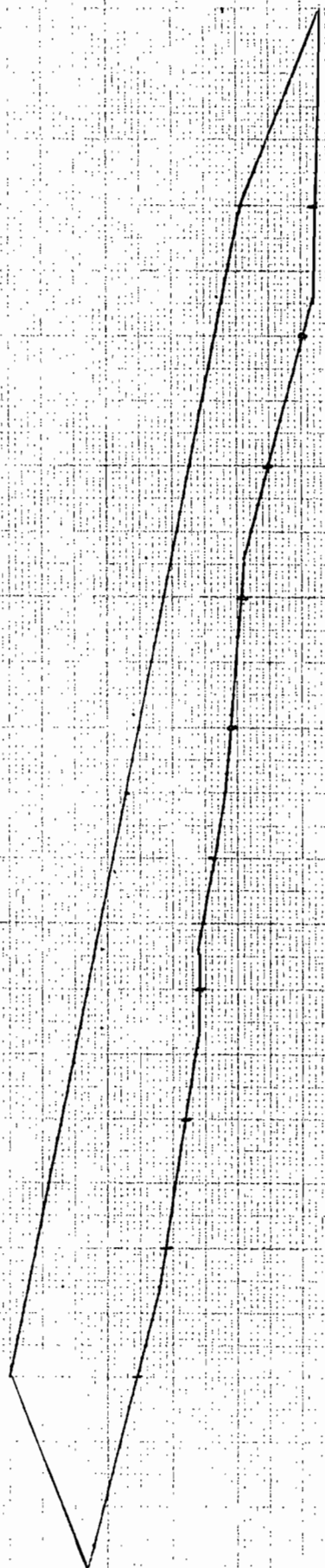
ε

P10

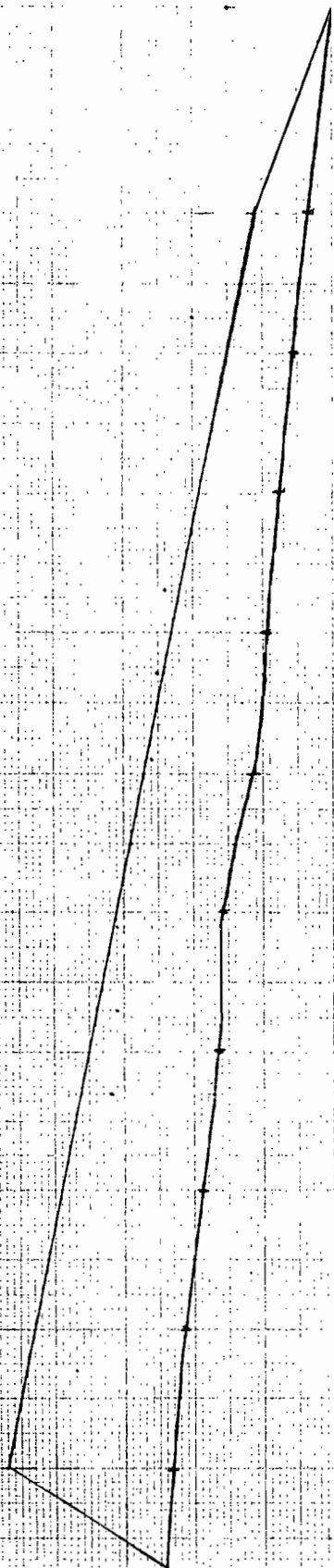




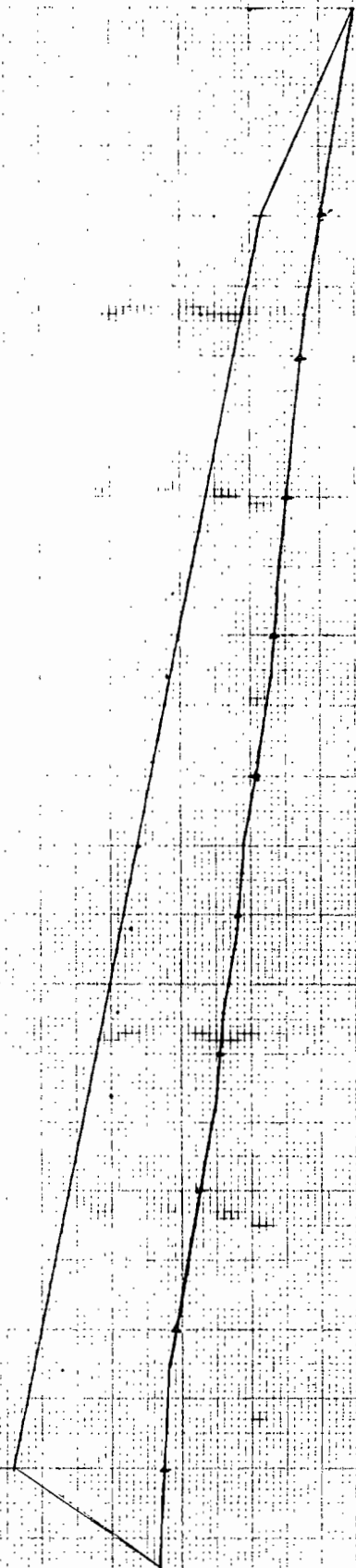
4



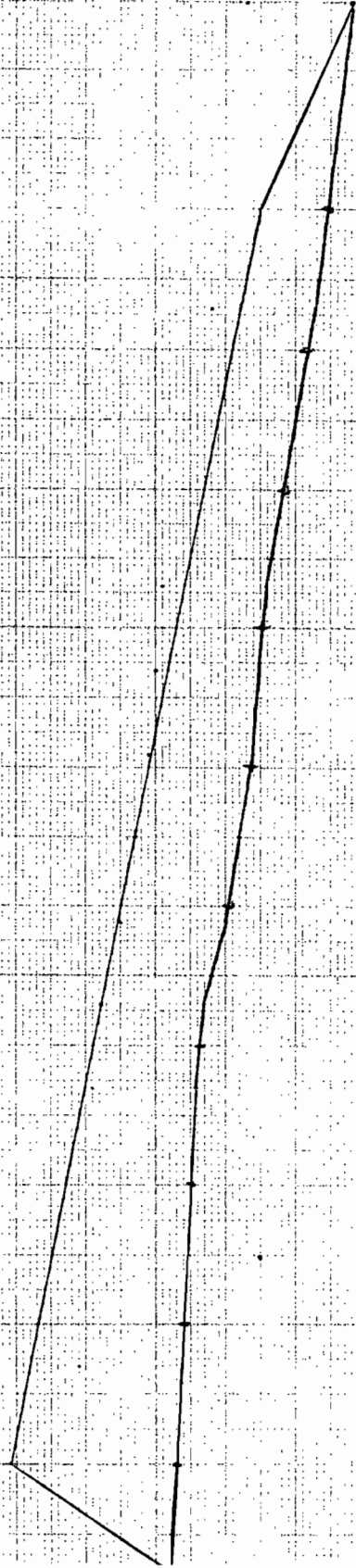
P40



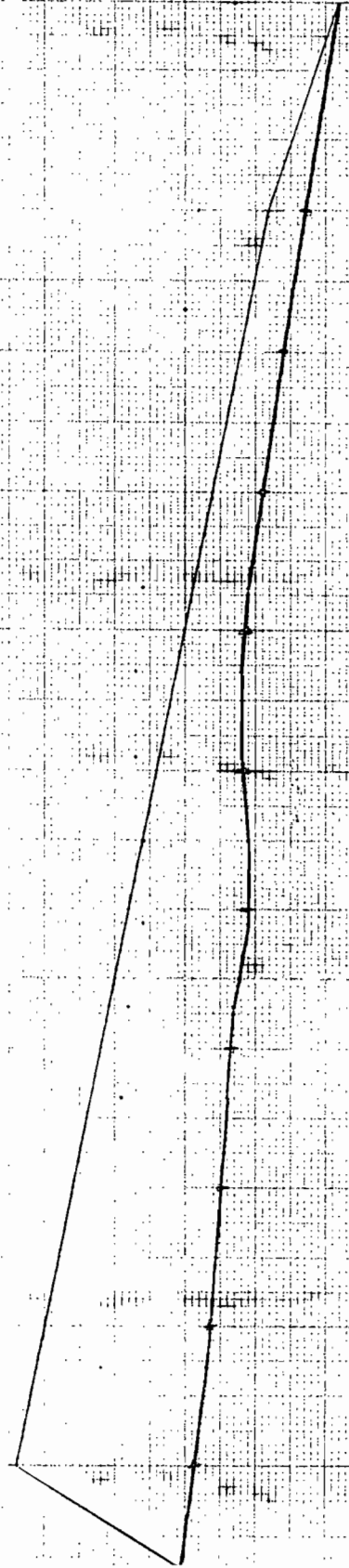
P50



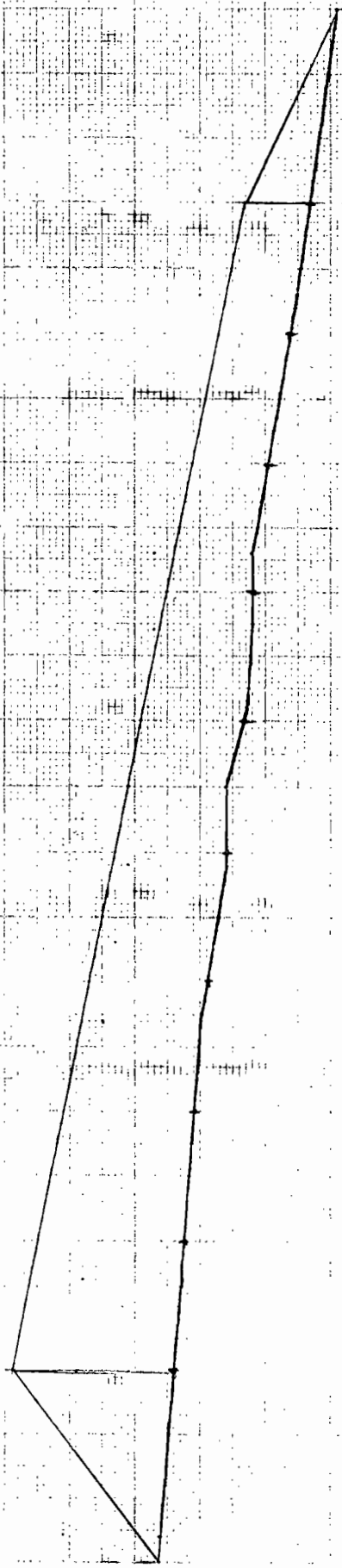
P 60



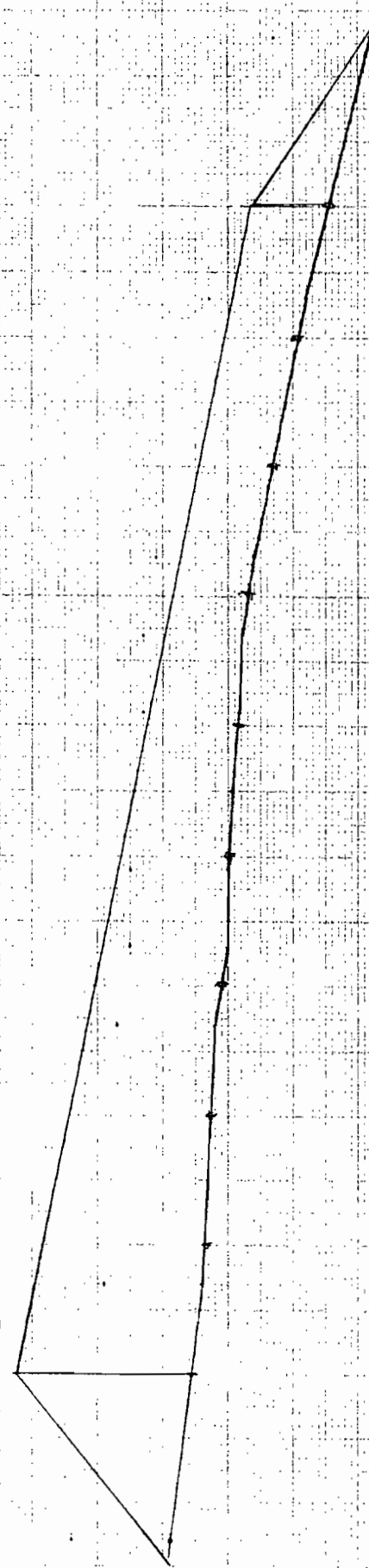
P 70



P80



P90



A-3-2 - PISTE 12/30DEVIS ESTIMATIF RELATIF AU RENFORCEMENT.

N°s	Désignation des ouvrages	U	Quantité	P. Unitaire	Prix Total
1	Enrobés denses	T	12.400	32.000	396.800.000
2	Béton bitumineux	T	10.800	36.000	388.800.000
3	Sand asphalt	T	1.750	22.000	38.500.000
4	Couche d'accrochage .	m2	185.500	150	27.825.000
5	Reflachage	T	1.860	32.000	59.520.000
<u>TOTAL</u> :					911.455.000
Divers, controle et surveillance (6%)					54.686.700
					966.131.700
<u>TOTAL Arrondi à</u> :!.....!.....!					970.000.000
					=====

Arrêté le présent devis estimatif à la somme de : NEUF CENT SOIXANTE DIX MILLIONS DE FRANCS CFA aux conditions économiques du mois de Juillet 1978.

A-3-3 EPAISSEUR MINIMUM DES COUCHES D'UNE CHAUSSEE SOUPLE

Couche constitutive	PRESSION DE CALCUL DES PNEUS D'AVION				
	Moins de 0.4 MPa	0.4 MPa @ 0.7 MPa	0.7 MPa @ 1.0 MPa	1.0 MPa @ 1.4 MPa	Plus de 1.4 MPa
Couche de roulement en béton bitumineux (mélange à chaud)	5.0 cm	6.5 cm	9.0 cm	10.5 cm	12.5 cm
Couche de base en gravés concassés ou en concassé	15 cm	23 cm	23 cm	30 cm	38 cm
Couche de fondation en granulats sélectionnés	L'épaisseur nécessaire pour arriver, avec les couches de roulement et de base, à: a) L'épaisseur granulaire totale équivalente exigée pour le support structural; b) l'épaisseur totale exigée pour une protection partielle contre le gel.				

REMARQUES:

1. Aux petits aéroports, aux aéroports bénéficiant de subventions et aux autres aéroports spéciaux, la couche de roulement de la chaussée peut être en béton bitumineux mélange à froid, pour des pressions de pneus inférieurs à 0.4 MPa. Les chiffres donnés pour les mélanges à chaud sont également valables pour les mélanges à froid.
2. Dans le cas d'un déblai rocheux, l'épaisseur de la chaussée doit comprendre une couche de base granulaire de 15 cm plus une couche de roulement de l'épaisseur indiquée ci-dessus.

B. BIBLIOGRAPHIE

1. YODER ELDON JOSEPH : PRINCIPLES OF PAVEMENT DESIGN
2^e Edition, John Wiley, 1975
2. G. MEUNIER : CONCEPTION, CONSTRUCTION, ET GESTION
DES AERODROMES, EYROLLES, 1969
3. HUGH. A. WALLACE
J. ROGERS MARTIN
ASPHALT PAVEMENT ENGINEERING, Mc Graw, 1967
4. J. HODE KEYSER ; PRINCIPALES METHODES DE
DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSÉES POUR AEROPORT
C.R.C.A.C, 1978
5. O.A.C.I : MANUEL DE CONCEPTION DES AERODR-
OMES : 3^e PARTIE : CHAUSSÉES, 2^e Edition,
O.A.C.I, 1983.
6. ASPHALT INSTITUTE : THICKNESS DESIGN (M-S-1)
8^e Edition, ASPHALT INSTITUTE, 1970
7. MINISTERE DES TRANSPORTS - FRANCE : DIMENSIONN-
EMENT DES CHAUSSÉES D'AERODROMES ET DETERMINA-
TION DES CHARGES ADMISSIBLES, MINISTERE DES
TRANSPORTS, 1970
8. LES PRIX DES TRAVAUX ROUTIERS AU SENEGAL, D.E.P,
dans BULLETIN DE LIAISON DES T.P N° 17, oct. 1983,
MINISTERE DE L'EQUIPEMENT / D.G.T.P.
9. DIRECTION GENERALE DES T.P : ETUDE DE RENF-
ORCEMENT DES ROUTES BITUMÉES, D.E.P, 1983
10. MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS - SENEGAL :
DECRET N° 75- 180 DU 17 FEVRIER 1975 PORTANT
APPROBATION DU CAHIER DES PRESCRIPTIONS COMMUNES

APPLICABLES AUX TRAVAUX ROUTIERS, MINISTÈRE
DES TRANSPORTS, 1975.

11. A.S.E.C.N.A : NOTE DE SYNTHÈSE RELATIVE À LA
PISTE 12-30, A.S.E.C.N.A., 1981.
12. STANISLAS N'DOUR : REHABILITATION DE LA PISTE
12-30 DE L'AÉROPORT DE DAKAR-YOFF: 1^È PARTIE,
PROJET DE FIN D'ÉTUDES, E.P.T, 1985 (en cours)
13. ALI OUNE BADIANE : PROPRIÉTÉS DES BÉTONS
BITUMINEUX UTILISÉS AU SÉNÉGAL
PROJET DE FIN D'ÉTUDES, E.P.T, 1983