

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

PARTIE I : GENERALITES

Chapitre I : NOTION ELEMENTAIRE ET THEORIQUE D'UN AERODROME.....	3
--	---

I.1/ PRESENTATION INTRODUCTIVE D'UN AERODROME	3
I.2/ ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AERODROME	3
I.3/ DEGAGEMENTS ET SERVITUDES AERONAUTIQUES.....	5
I.4/ NOTION DE PISTE	10
I.5/ NOTION DE BANDE DE PISTE.....	13
I.6/ CLASSIFICATION DES AERODROMES	15

Chapitre II : L' AERODROME D'ANTALAHA ET SON ENVIRONNEMENT ...	19
--	----

II.1/ LA COMMUNE URBAINE D'ANTALAHA.....	19
II.2/ ZONE D'INFLUENCE DE L'AERODROME D'ANTALAHA	19
II.3/ ETUDE SOCIO ECONOMIQUE DE LA ZONE D'INFLUENCE	20
II.4/ DESCRIPTION DE L'AERODROME D'ANTALAHA.....	29
II.5/ SITUATION DE TRAFICS – FRETS – PASSAGERS.....	32

PARTIE II : ETUDES TECHNIQUES

Chapitre III : ETATS DES LIEUX.....	39
-------------------------------------	----

III.1/ GENERALITE.....	39
III.2/ DEGRADATION RELEVES.....	39
III.3/ MESURE DE DEFLEXION	40
III.4/ ETUDE GEOTECHNIQUE	45
III.5/ RECONNAISSANCE ET CARATERISTIQUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	54

Chapitre IV : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	57
---	----

IV-1/ GENERALITE.....	57
IV.2/ NOTION DE CHAUSSEE	58
IV.3/ CARACTERISTIQUES DES AERONEFS ET DU TRAFIC QUI INFLUENT AU DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	64
IV.4/ ETUDE DE VARIANTE	70
IV.5/ PROPOSITION DE METHODE DE DIMENSIONNEMENT	72
IV.6/ DETRMINATION DE LA RSE ET DE L'EPAISSEUR EQUIVALENTE ...	78

Chapitre V : VERIFICATION DE CONTRAINTE.....	90
--	----

V.1/ INTRODUCTION	90
V.2/ DIMENSIONNEMENT DE LONGUEUR DE PISTE	100

Chapitre VI : ASSAINISSEMENT.....	103
-----------------------------------	-----

VI.1/ GENERALITE	103
VI.2/ ETAT DES LIEUX	103
VI.3/ PROPOSITION D'AMENAGEMENT	103
VI.4/ METHODE DE DIMENSIONNEMENT	104
VI.5/ DIMENSIONNEMENT	105

PARTIE III : ETUDES ECONOMIQUES

Chapitre VII : EVALUATION DU COUT DES TRAVAUX.....	107
--	-----

VII.1/ INTRODUCTION	107
VII.2/ DEVIS DESCRIPTIF.....	107

VII.3/ DEVIS QUANTITATIF	108
VII.4/ BORDEREAU DE DETAILS ESTIMATIFS.....	108
Chapitre VIII : ETUDE DE RENTABILITE ECONOMIQUE	111
VIII.1/ VALEUR ACTUELLE NETTE (V.A.N).....	111
VIII.2/ INDICE DE RENTABILITE.....	111
VIII.3/ TAUX DE RENTABILITE INTERNE (T.R.I).....	112
VIII.4/ CALCUL PRATIQUE	112
CONCLUSION GENERALE	
ANNEXES	

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU N°1 : Largeur minimale d'une piste en [m].....	11
TABLEAU N°2 : La longueur « L » suivant le chiffre de code et le mode des opérations.	14
TABLEAU N°3 : la valeur de L selon la classe de l'aérodrome	14
TABLEAU N°4 : Largeur de la bande de piste suivant le chiffre de code.	15
TABLEAU N°5 : Largeur de la bande de piste suivant la classe de l'aérodrome.	15
TABLEAU N°6 : Code de référence des aérodromes.	17
TABLEAU N°7 : Classification suivant les dimension de la piste.	17
TABLEAU N°8 : Composition ethnique de la population.	20
TABLEAU N°9: Répartition des surfaces cultivables et surface cultivées en [ha]	24
TABLEAU N°10 : répartition de la superficie en [ha] par spéculation.	24
TABLEAU N°11 : Production agricole en tonne de 1998 à 2001	25
TABLEAU N°12 : Pluviométrie moyenne annuelle.	27
TABLEAU N°13 : Pluviométrie moyenne mensuel pendant la période de 1961 à 1990.	28
TABLEAU N°14 : Température moyenne annuelle de 1961-1990.....	28
TABLEAU N° 15 : Température moyenne mensuelle pendant la période de 1961-1990.	28
TABLEAU N°16 : Moyenne de l'intensité du vent pendant la période de 1961 à 1990.	29
TABLEAU N°17 : Position des raquettes	31
TABLEAU N°18 : Nombre d'atterrissage par an.....	32
TABLEAU N°19 : Nombre d'atterrissage mensuel en 2003.	32
TABLEAU N° 20 : Effectif annuel de passagers.	33
TABLEAU N°21 : Statistique mensuel de passagers.	34
TABLEAU N°22 : Fret et poste mensuel en tonne en 2003.....	35
TABLEAU N°23: Prévision de trafic 2004 à 2013	37
TABLEAU N°24 : prévision de passagers de 2004 à 2013.	37
TABLEAU N°25 : Prévision de fret de 2004 à 2013.	37
TABLEAU N°26 : Déflexion sur la piste.....	41
TABLEAU N°27 : Déflexion sur la bretelle.....	43
TABLEAU N°28 : Déflexion sur aire de stationnement.	43
TABLEAU N°29 : Résultats des essais in situ au niveau de la plate forme.....	49
TABLEAU N°30 : Résultats des essais au laboratoire sur sol de plate forme.....	50
TABLEAU N°31 : Etude du W_{nat} par rapport à W_{OPM} pour sol de plate forme.....	50
TABLEAU N°32: Résultats des essais au laboratoire sur le sol de fondation.....	51
TABLEAU N° 33 : Résultats des essais au laboratoire sur le sol de fondation.....	51
TABLEAU N°34 : Résultats des essais au laboratoire pour les zones non revêtues.....	52
TABLEAU N°35 : Résultat des essais dans la zone marécageuse.	52
TABLEAU N°36 : Critères géotechniques des matériaux meubles.....	54
TABLEAU N°37 : Critères géotechniques de matériaux rocheux.	55
TABLEAU N°38 : Caractéristique des matériaux d'emprunt.	55
TABLEAU N°39 : Caractéristiques des matériaux de gîte.	56
TABLEAU N°40 : Critères géotechniques des matériaux rocheux.....	56
TABLEAU N°41 : Comparaison de charge routière et charge d'aérodrome.	58

TABLEAU N°42 : Coefficient d'équivalence des matériaux.	60
TABLEAU N°43 : Caractéristiques des atterrisseurs	65
TABLEAU N° 44 : caractéristique des atterrisseurs types.	66
TABLEAU N°45 : Coefficient de pondération en fonction de l'aire.	70
TABLEAU N°46 : Epaisseur équivalente en (cm) de la chaussée existante.	86
TABLEAU N°47 : Epaisseur équivalente de renforcement en (cm).	86
TABLEAU N°48 : Epaisseur de l'accotement en (cm).	87
TABLEAU N°49 : Structure de renforcement proposée.	87
TABLEAU N°50 : Structure obtenue après renforcement.	87
TABLEAU N°51 : Structure de la nouvelle chaussée.	89
TABLEAU N°52 : Résultats de calcul de contrainte en (MPa).	92
TABLEAU N°53 : Lettre de code suivant le type de chaussée.	95
TABLEAU N°54 : Catégorie du sol support.	95
TABLEAU N°55 : Catégorie de pression maximale admissible des pneus.	96
TABLEAU N°56 : Evaluation technique.	96
TABLEAU N°57 : Coefficient « α ».	97
TABLEAU N°58 : Résultats de calculs ACN/PCN.	98
TABLEAU N°59 : Résultats de calcul de charge admissible.	99
TABLEAU N°60 : B.D.E.	109
TABLEAU N°61 : Calcul des indicateurs économiques en Fmg.	113

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Vue en plan de la surface d'obstacle.....	7
Figure 2	: Section A-A	8
Figure 3	: Section B-B	9
Figure 4	: Profil de l'axe de la piste	13
Figure 5	: Evolution de trafic en 2003	33
Figure 6	: Variation du nombre de passagers en 2003	34
Figure 7	: Evolution de la masse de fret et poste en 2003	36
Figure 8	: Variation de déflexion sur le côté gauche	43
Figure 9	: Coupe type de la chaussée existante	45
Figure 10	: Sondage sur PK 0+180	46
Figure 11	: Sondage sur PK 0+360	46
Figure 12	: Sondage sur PK 0+980	46
Figure 13	: Sondage sur PK 1+100	46
Figure 14	: Sondage sur la bretelle	47
Figure 15	: Sondage sur l'aire de stationnement	47
Figure 16	: Sondage sur PK 1+213	48
Figure 17	: Sondage sur PK 1+243	48
Figure 18	: Sondage sur PK 1+273	48
Figure 19	: Atterrisseurs types	67
Figure 20	: Atterrisseur à configuration complexe	68
Figure 21	: Variante N°1	70
Figure 22	: Variante N°2	70
Figure 23	: Variante N°3	70
Figure 24	: Variante adoptée	71
Figure 25	: Coupe type dans la zone 1	84
Figure 26	: Coupe type dans la zone 2	85
Figure 27	: Coupe type de la structure de la bretelle	85
Figure 28	: Coupe type de la structure de l'aire de stationnement	85
Figure 29	: Modélisation de la structure de la chaussée	91

LISTE DES ABREVIATIONS

a_i	: Coefficient d'équivalence
AFIS	: Aeronautical Flight Information Service
AS	: Aire de Stationnement
ACN	: Aircraft Classification Number
ACM	: Aviation Civile de Madagasikara
B	: Boeing
BB	: Béton Bitumeux
BDE	: Bordereau de Détail Estimatif
CAP	: Circulation Aérienne P
CBR	: Californian Bearing Ratio
CFA	: Cash- Flow Actualisé
CFC	:Cash-Flow Cumulé
cm	: Centimètre
CB	: Couche de Base
CF	: Couche de Fondation
$CF_{statique}$	: Coefficient de fragmentation statique
CSB	: Centre de Santé de Base
CF	: Couche de fondation
CA	: Chiffre d'affaire
CFAA	: Cash-Flow Annuelle Actualisé
CFB	: Cash-Flow Brut
DA	: Dépense Annuelle
ES	: Enduit Superficiel
ext	: existant
e	: Epaisseur réelle
γ_h	: Densité naturelle
γ_d	: Densité sèche
GPS	: Global Positioning System
GCNT	: Grave Concassée Non Traitée
GB	: Grave Bitume
h	: épaisseur équivalente
$h_{néc}$	: épaisseur équivalente nécessaire
heq	: épaisseur équivalente
hext	: épaisseur équivalente existante
hrenf	: épaisseur équivalente de renforcement
IP	: Indice de Plasticité
ITAC	: Instruction Technique de l'Aviation Civile
INSTAT	: Institut National de la STATistique
LA	: Coefficient Los Angeles
LAR	: Limon Argileux Rouge
LSJ	: Limon Sableux Jaune
LNTPB	: Laboratoire Nationale de Travaux Public et du bâtiment
m^2	: Mètre carré
m^3	: Mètre cube

MDE	: Micro Deval à l'eau
MPa	: Méga Pascal
Nat	: Naturel
nd	: Non défini
OACI	: Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OPM	: Optimum Proctor Modifié
ONG	: Organisation Non Gouvernementale
Pta	: Poids
Pa	: Charge admissible par atterrisseur
PK	: Point Kilométrique
PCN	: Pavement Classification Number
PU	: Prix Unitaire
Qte	: Quantité
q	: Pression de gonflage de pneus
r	: Roue
renf	: Renforcement
RGPH	: Recensement Générale de la Population Humaine
RA	: Recette Annuelle
RSE	: Roue Simple Equivalente
SLAJ	: Sable Limono Argileux Jaune
SLA	: Sable Llimono-Argileux
SLJ	: Sable Limoneux Jaune
SNA	: Service de la Navigation Aérienne
SA	: Société Anonyme
SAVA	: Sambava Antalaha Vohemar Andapa
SL	: Sable Limoneux
SAG	: Sable Argileux Gris
STBA	: Service Technique des Bases Aériennes
SLJ	: Sol Limoneux Jaunâtre
T/m ³	: Tonne par mètre cube
TRI	: Taux de Rentabilité Interne
U	: Unité
VAN	: Valeur Actualisée Nette
VHF :	:Very High Frequency
Wnat	: Teneur en eau naturelle
Wp	: Teneur en eau de plasticité
Wl	: Teneur en eau de liquidité

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : CONCEPTION DES CHAUSSEES D'AERODROME	1
ANNEXE B : MODELE DE PREVISION.....	19
PREVISION DE CHIFFRE D'AFFAIRE.....	23
ANNEXE C : DEVIS DESCRIPTIF.....	25
DEVIS QUANTITATIF.....	29
ANNEXE D : VERIFICATION DES CONTRAINTES.....	41
ANNEXE E : TABLEAUX ET ABAQUES	
ANNEXE F : PLANS	

INTRODUCTION

Dans le cadre du développement rapide lancé par notre Président de la République Marc RAVALOMANANA, notre pays a beaucoup investi dans les grands Travaux, en particulier les Travaux de construction routière. La décentralisation est maintenant lancée et chaque région doit concentrer tous ses efforts aux croissances économiques de leur territoire.

Ces derniers temps, l'Etat commence à prendre conscience de l'importance du transport aérien si l'on ne parle que des Travaux sur l'aérodrome de NOSY-BE vu son efficacité, sa régularité, sa rapidité et le confort qu'il procure.

ANTALAHA est une ville à vocation agricole, elle est reconnue capitale mondiale de la vanille ; elle assure la mise à norme à l'exploitation des produits de la SAVA, de MAROANTSETRA, MANANARA, et même MANDRITSARA.

La société AIR MADAGASCAR ne satisfait pourtant pas le transfert de fret de vanille. Malgré les cyclones qui se succèdent, ce qui a pour effet de diminuer le fret, les exportateurs trouvent du mal à avoir un affrètement d'avion.

Le parc national de MADAGASIKARA, « le parc MASOALA » qui se trouve à 40km de l'aéroport lui offre des grands atouts écotouristiques. La forêt tropicale MASOALA est reproduite au zoo de Zurich sur 1100m² depuis juin 2003. Par ailleurs, le bitumage de la RN5A reliant ANTALAHA et SAMBAVA aura une grande répercussion sur l'exploitation de l'aéroport d'ANTSIRABATO car les touristes pourront arriver et quitter la région de la SAVA par ANTALAHA.

L'association ANDRY Développement, le responsable d'exploitation commerciale de l'aéroport, conscient de l'avenir promoteur si bien au niveau économique que touristique de la région, veut concentrer ses efforts sur la sécurisation de l'exploitation et le développement de l'aéroport d'ANTSIRABATO même jusqu'à recevoir des vols internationaux.

Pour parvenir à un tel but il faut au moins avoir le droit de survol et le droit d'atterrissage d'un avion ayant une plus grande capacité comme les Boeing 737.

Cependant l'introduction d'un nouveau type d'aéronef dans un aérodrome nécessite des études sur les infrastructures aéroportuaires.

A cet effet, le présent mémoire de fin d'étude intitulé : « RENFORCEMENT DES AIRES AERONAUTIQUES ET RALLONGEMENT DE LA PISTE DE L'AERODROME D'ANTALAHA POUR RECEVOIR UN BOEING 737-400 » a été lancé en vue d'une étude plus approfondie sur la faisabilité, les exigences et les différents Travaux à réaliser pour ce projet.

Pour se faire, nous allons traiter trois grandes parties :

PARTIE I : Généralités ;

PARTIE II : Etudes techniques ;

PARTIE III : Etudes économiques.

Partie I: **Partie I: GENERALITES**

Chapitre I : NOTION ÉLÉMENTAIRE ET THÉORIQUE D'UN AÉRODROME

I.1/ PRÉSENTATION INTRODUCTIVE D'UN AÉRODROME

I.1.1 / Définitions

a) Aérodrome

Un aérodrome est une surface définie sur terre ou sur l'eau, comprenant éventuellement : bâtiments, installations et matériels destinés à être utilisés en totalité ou en partie pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs en surface.

b) Aéroport

On appelle aéroport la surface où sont aménagées l'aérodrome ainsi que toutes les installations qui doivent l'accompagner pour le bon fonctionnement du transport aérien ou commercial.

c) Aérogare

C'est un ensemble de bâtiments destinés spécialement aux passagers et aux marchandises. On peut aussi le définir comme étant le point de départ des services d'autocars assurant la liaison entre l'aéroport et la ville.

d) Aéronef

Appareil à l'aide duquel on peut voler dans les airs.

I.2/ ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AÉRODROME

Un aérodrome est composé de plusieurs éléments qui ne doivent être négligés lors de sa conception pour son bon fonctionnement selon sa mode d'exploitation.

I.2.1/ L'aire de mouvement

C'est une partie d'un aérodrome utilisée pour l'atterrissage, le décollage et la circulation des aéronefs en surface. Elle comprend : l'aire de manœuvre et l'aire de trafic.

a) Aire de manœuvre

C'est la partie d'un aérodrome destinée à l'atterrissage, au décollage et à la circulation des aéronefs en surface à l'exclusion des aires de trafics.

b) Aire de trafic

C'est une surface définie sur un aérodrome qui est destinée aux aéronefs pour l'embarquement ou le débarquement des passagers ; le chargement ou le déchargement de la poste ; des marchandises ou des frets ; l'avitaillement en carburant et le stationnement ou l'entretien.

c) Bretelle

C'est une partie de l'aire de mouvement qui rallie l'aire d'atterrissage et l'aire de trafic.

I.2.2/ Les zones d'installation

Elles sont groupées par zone d'activité semblable à proximité des aires de circulation.

a) La zone d'exploitation

Elle comprend les ouvrages destinés à l'exploitation de l'aérodrome :

- ☞ Exploitation commerciale : Aérogare passager, aérogare fret, commissariat, hôtelier, abri de matériels, parc de véhicule, dépôt de carburant ;
- ☞ Exploitation technique : Bloc technique et vigie, services généraux de l'aérodrome, service incendie, centrale technique et parc à véhicule correspondant.

b) La zone d'activité industrielle

Elle regroupe les zones équipées des installations nécessaires pour l'entretien et la réparation des aéronefs voire même pour la construction aéronautique. Elle peut aussi abriter des industries de fabrication des matériels destinés à l'exploitation ayant besoin d'un intérêt sous douane.

c) Zones spécialisées

Ce sont des zones destinées à une activité spéciale comme : zone militaire, zone pour la sécurité civile, zone d'aviation générale, zone planeur...

d) Autres installations

Des installations diverses peuvent être installées dans divers endroits de l'aérodrome selon leur utilisation. A savoir les installations de balisage, les postes de transformation, les émetteurs de radionavigation, les installations météorologiques, les réseaux divers (voieries, eaux usées, eaux potables, câbles électriques, ...)

I.3/ DEGAGEMENTS ET SERVITUDES AERONAUTIQUES

Pour assurer un bon fonctionnement d'un aérodrome en offrant aux avions la possibilité d'évoluer en toute sécurité, des différentes surfaces sont aménagées et devant être libres de tout obstacle.

La spécificité du présent paragraphe a pour objet de définir les surfaces de limitation d'obstacle qui pourront être prises en compte afin d'éviter une éventuelle interruption de l'exploitation d'un aérodrome.

I.3.1/ Surface conique

C'est une surface inclinée vers le haut et vers l'extérieur à partir du contour de la surface horizontale intérieure. Cette surface et la surface horizontale intérieure sont destinées à la protection des tours de piste et de l'approche indirecte.

I.3.2/ Surface horizontale intérieure

La surface horizontale intérieure est une surface située dans le plan horizontal au dessus d'un aérodrome et de ses abords. Cette surface est souvent circulaire mais elle peut aussi prendre d'autres formes géométriques.

I.3.3/ Surface d'approche

C'est un plan incliné ou une combinaison de plan précédant le seuil. Une partie du plan de cette surface qui est une portion rectangulaire précédant immédiatement le seuil est appelée surface intérieure d'approche.

I.3.4/ Surface de transition

C'est une surface complexe qui s'étend sur le coté de la bande et sur une partie du coté de la surface d'approche. Elle s'incline vers le haut et vers l'extérieure jusqu'à la surface horizontale intérieure.

I.3.5/ Surface de montée au décollage

Cette surface est un plan incliné où toute autre surface spécifiée située au-delà de l'extrémité d'une piste ou d'un prolongement dégagé.

I.3.6/ Spécification en matière de limitation d'obstacle

Pour une piste donnée, les spécifications en matière de limitation d'obstacle dépendent des opérations auxquelles cette piste est destinée lors du décollage ou de l'atterrissage car il faut noter qu'il existe deux sortes de piste : la piste à vue et la piste aux instruments.

Note : Les figures suivantes montrent les délimitations des différentes surfaces qu'on a définies.

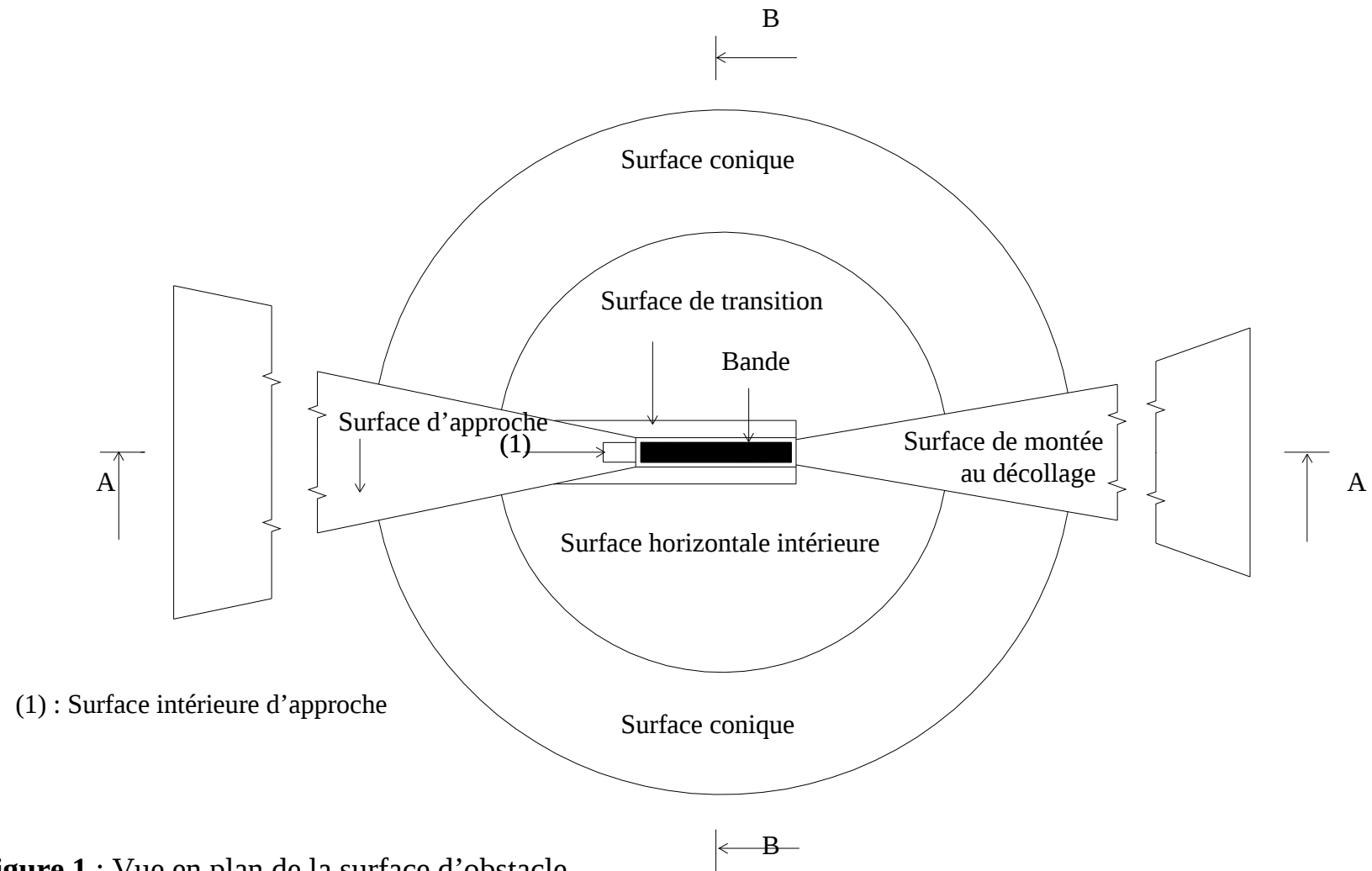


Figure 1 : Vue en plan de la surface d'obstacle

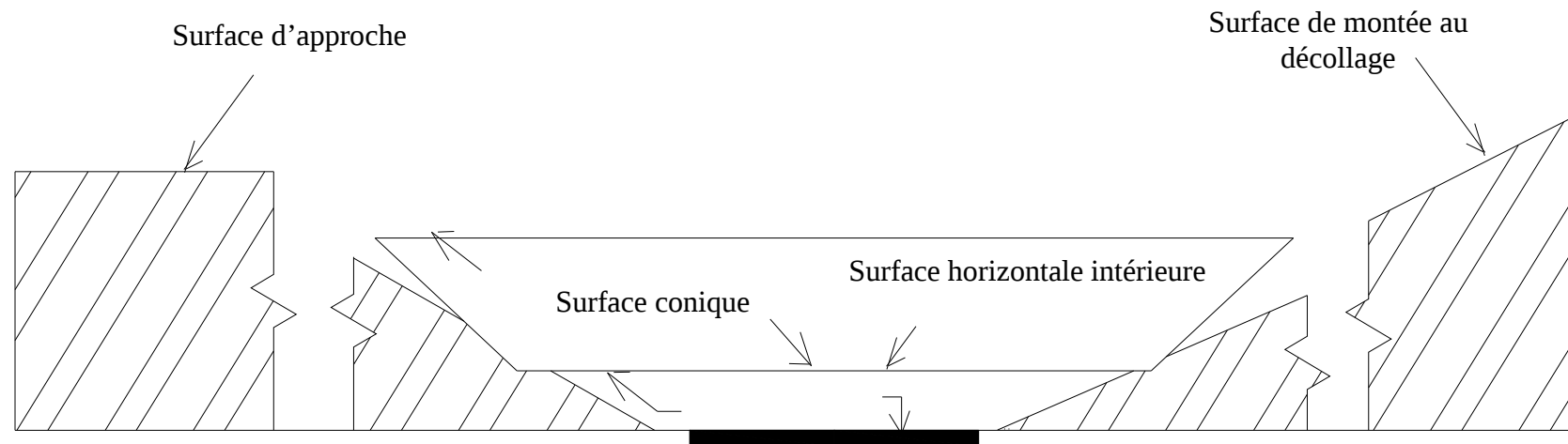


Figure 2 : Section A - A

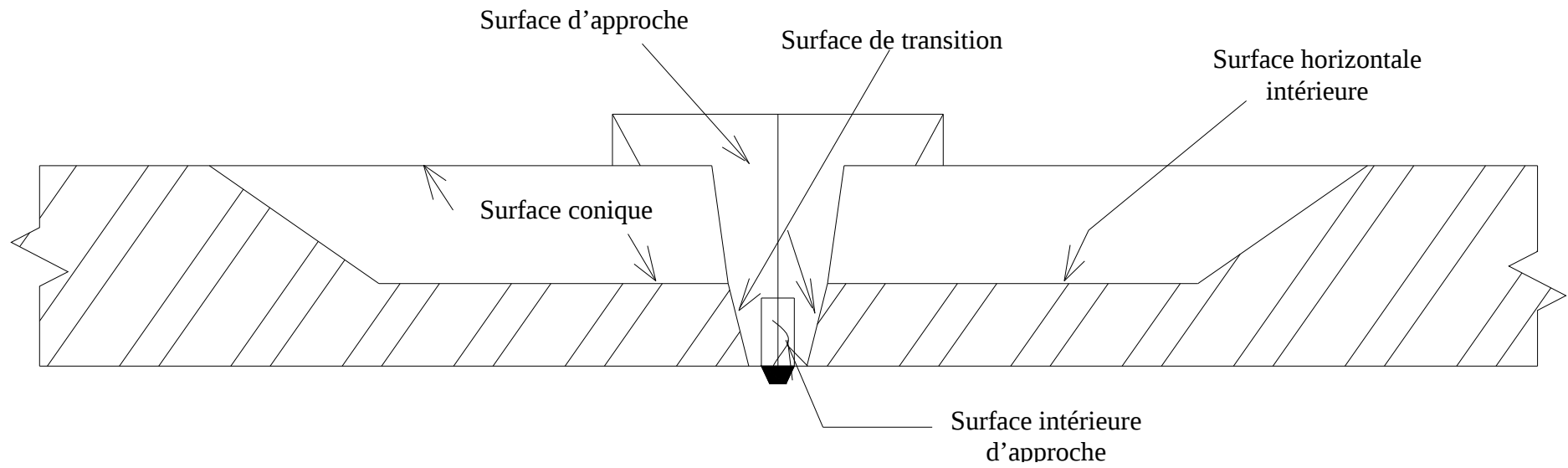


Figure 3 : Section B - B

I.3.7/ Règles de dégagement

Ses règles définissent la disposition et la manière de classer les obstacles perçant les surfaces de dégagement ou situés à une distance de moins de 20m de celle-ci.

Le détail sur ce paragraphe est consigné à l'**Annexe A**.

I.4/ NOTION DE PISTE

I.4.1/ Définition

Une piste est une aire rectangulaire, spécialement aménagée dans un aérodrome, destinée à l'atterrissage et au décollage des aéronefs.

I.4.2/ Les caractéristiques d'une piste

a) Les différents types de piste

Selon le mode des opérations lors du décollage ou à l'atterrissage on distingue deux types de piste, à savoir : la piste à vue et la piste aux instruments.

☞ Piste à vue

Une piste à vue est une piste avec laquelle les aéronefs effectuent une approche à vue. Le pilote se fie seulement d'une carte d'approche à vue et d'aides radioélectriques à titre accessoire lors de l'atterrissage.

☞ Piste aux instruments

C'est une piste destinée aux aéronefs qui peuvent ou qui utilisent des procédures d'approche aux instruments. Ce type de piste peut être avec approche classique ou avec approche de précision.

b) Longueur réelle des pistes

La longueur réelle à donner à une piste doit être suffisante pour permettre le décollage et l'atterrissage des avions auxquels la piste est destinée compte tenu de leurs besoins opérationnels et des conditions dans la région où la piste est implantée.

Cette longueur ne devrait pas être inférieure à la plus grande longueur obtenue en appliquant aux vols et aux caractéristiques de performance des avions, les corrections correspondants aux conditions locales et ne prévoit pas nécessairement l'exploitation de l'avion critique à sa masse maximale.

Plusieurs facteurs peuvent influencer à la longueur d'une piste, à savoir :

- ☞ Les caractéristiques de performance des avions et les masses des avions auxquels la piste est destinée ;
- ☞ Les conditions météorologiques, particulièrement le vent et la température du sol ;
- ☞ Les caractéristiques de la piste telles que la pente et l'état de la surface ;
- ☞ Les facteurs relatifs à l'emplacement de l'aéroport, telles que l'altitude de l'aéroport (qui influe sur la pression barométrique) et les contraintes topographiques.

c) Largeur d'une piste

La largeur d'une piste dépend de la lettre de code et le chiffre de code du code de référence de l'aérodrome. A cet effet le tableau ci-dessous indique la largeur minimale qu'une piste doit avoir.

TABLEAU N°1 : Largeur minimale d'une piste en [m].

Chiffre de code	Lettre de code				
	A	B	C	D	E
1 ^{er}	18	18	23	-	-
2 ^{ème}	23	23	30	-	-
3 ^{ème}	30	30	30	45	-
4 ^{ème}	-	-	45	45	45

Source : S.T.B.A

d) Pente d'une piste

La pente longitudinale fait partie des paramètres qu'il faut prendre en compte lors de la conception d'une piste car elle influe sur le calcul de la longueur réelle de la piste.

Cette pente est obtenue en faisant le rapport entre la différence du niveau maximale et le niveau minimal le long de l'axe de la piste par la longueur de la piste.

Comme pour les chaussées routiers, l'eau est aussi à craindre pour les chaussées aéronautiques dans la mesure où elle pourrait nuire à la stabilité des avions par le phénomène de glissance et à la bonne tenue du corps de la chaussée sous l'effet de l'infiltration d'eau. Alors il est prudent d'adopter le profil en travers en toit pour assurer un assèchement aussi rapide que possible de la piste. Faute de profil en toit on peut aussi admettre les profils en travers à pente uniforme descendant dans le sens du vent dominant de pluie ou de deux versants dissymétriques dans le cas d'un élargissement dans un seul côté.

Les valeurs limites à adopter sont consignées à l'**Annexe A**.

e) Changement de pente longitudinale

Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente, le passage d'une pente à une autre doit être réalisé à l'aide d'une courbe de raccordement de sorte que le rayon de cette courbe soit le plus proche possible des valeurs conseillées.

Cette disposition est prise pour éviter les ondulations qui pourront être nocives pour les aéronefs, aux comforts des passagers lors des atterrissages ou des décollages et à la visibilité lors de la circulation sur la piste.

Pour se faire, la distance entre 2 points de changement de pente doit être supérieure au plus déterminant des deux valeurs suivantes :

☞ 45m

☞ $D_0 = (|X-Y| + |Y-Z|) * R$

Où R est le rayon de courbure conseillé pour la classe de la piste définit comme suit :

Chiffre de code	Rayon (m)
1	5000
2	15000
3	15000
4	30000

Les changements de pente entre deux pentes consécutives ne doivent jamais dépasser :

- ☞ 1.5% pour un chiffre de code 3 ou 4 ;
- ☞ 2% pour les chiffres 1 ou 2.

La figure ci-dessous illustre la détermination de la distance de changement de pente.

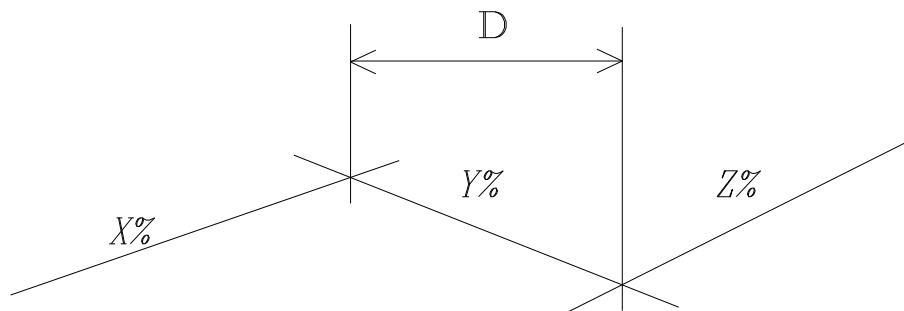


Figure 4 : Profil de l'axe de la piste.

I.5/ NOTION DE BANDE DE PISTE

I.5.1/ Généralité

La bande de piste est une aire rectangulaire qui entoure la piste ainsi que les prolongements d'arrêt, s'il y en a.

La bande de piste est destinée à :

- ☞ réduire au minimum les risques courus par les avions qui s'écartent de la piste ou du prolongement d'arrêt ;
- ☞ assurer la protection des aéronefs survolant cette aire au cours des opérations de décollage et d'atterrissage.

I.5.2/ Longueur de la bande de piste

La longueur de la bande de piste est égale à la longueur de la piste revêtue majorée d'une longueur « L » en amont de chaque seuil suivant la classe ou le chiffre de code de l'aérodrome.

Les tableaux N°3 et N°4 montrent la longueur « L » pour une bande de piste compte tenue du chiffre de code ou la classe de l'aérodrome.

TABLEAU N°2 : La longueur « L » suivant le chiffre de code et le mode des opérations.

Chiffre de code	1	2	3	4	Piste à vue	Piste aux instruments
L (m)	30	60	60	60	30	60

Source : S.T.B.A Annexe 14

TABLEAU N°3 : la valeur de L selon la classe de l'aérodrome

Classe	A	B	C	D1	D2
L (m)	60	60	60	30	60

Source : Manuel de conception des aérodromes.

1.5.3 Largeur de la bande

La largeur de la bande de piste peut varier suivant le chiffre de code de l'aérodrome associé et la procédure d'approche lors de l'atterrissage des aéronefs, mais on peut aussi la déterminer en fonction de la classe de l'aérodrome.

Pour une piste aux instruments, la largeur de la bande de piste peut varier de 150m à 300m tandis que la piste à vue en a de 60m à 150m.

a) Largeur de la bande selon le chiffre de code

La largeur que nous définissons ici est la largeur s'étendant latéralement sur toute la longueur de la piste, de part et d'autre de l'axe et de son prolongement.

TABLEAU N°4 : Largeur de la bande de piste suivant le chiffre de code.

Nature d'opération	Piste aux instruments				Piste à vue			
Chiffre de code	1	2	3	4	1	2	3	4
Largeur (m)	75	75	150	150	30	40	75	75

Source : S.T.B.A (Annexe 14)

Le tableau suivant donne la largeur de la bande suivant la classe de l'aérodrome.

TABLEAU N°5 : Largeur de la bande de piste suivant la classe de l'aérodrome.

Classe	A	B	C	D1	D2
Largeur (m)	150	150	150	150-100	100-80

Source : I.T.A.C

I.6/ CLASSIFICATION DES AERODROMES

I.6.1/ Généralité

Chaque aérodrome a sa propre particularité qui définit sa classification.

La classification des aérodromes est d'une grande importance, aussi bien pour les concepteurs que pour les utilisateurs. Alors dans ce paragraphe nous allons donner les indications à titre globales sur la manière de classer les aérodromes.

I.6.2/ Les différents types de classification

D'après les plus fréquemment utilisées, on peut citer les deux classifications ci après :

- ☞ La classification de l'OACI : pour laquelle tous les caractéristiques de l'aérodrome découlent de la longueur de la piste principale qui est le paramètre de base de la conception ;
- ☞ La classification de la réglementation française : qui est basée sur les caractéristiques des activités aériennes pour lesquelles l'aérodrome a été conçu.

Les paramètres de base sont :

- La nature du trafic ;
- La longueur d'étape au départ de l'aérodrome ;
- La nécessité d'assurer normalement le service en toute circonstance.

A partir de cette classification est née une nouvelle mode de classification précisant quelques sous classes, appelée : classification de l'ITAC (Instruction Technique Pour les Aérodrômes Civils).

a) Classification du code de l'aviation civile ou la réglementation française

Dans cette classification, on a cinq catégorie qui sont définis comme suit :

- ☞ **Catégorie A :** Ce sont les aérodromes destinés aux services appelés longs courriers. La longueur d'étape assurée normalement en toute circonstance est de 3.000 km.
- ☞ **Catégorie B :** Aérodromes destinés aux moyens courriers ou moyens distances assurant normalement en toute circonstance une longueur d'étape moyenne de 1.000 à 3.000km.
- ☞ **Catégorie C :** Ce sont les aérodromes destinés normalement en toute circonstance :
 - Aux services à courte distance ou à court courrier avec une étape moins de 1.000km ;
 - Aux grands tourisms.
- ☞ **Catégorie D :** Les aérodromes de cette catégorie sont conçus pour la formation aéronautique, aux sports aériens, aux tourisms et à certains services à courte distance.
- ☞ **Catégorie E :** Ce sont les aérodromes destinés aux giravions et aux aéronefs à décollage vertical.

b) Classification de l' O.A.C.I

L'O.A.C.I propose deux codes pour classer les aérodromes :

- ☞ Les chiffres de code : liés à la performance des avions ;
- ☞ La lettre de code qui fait référence aux dimensions de l'avion.

Ce code fournit une méthode simple permettant d'établir une relation entre les nombreuses spécifications qui traitent des caractéristiques d'un aérodrome afin de définir une série d'installations adaptées aux avions qui seront appelés à utiliser cet aérodrome.

Le tableau ci après montre la classification des aérodromes selon l'O.A.C.I.

TABLEAU N°6 : Code de référence des aérodromes.

Chiffres de code	ELEMENT DE CODE 1		ELEMENT DE CODE 2	
	Distance de référence de l'avion : Lr (m)	Lettres de code	Envergure E (m)	Largeur hors tout du train principale: Le (m)
1	$Lr \geq 800$	A	$E < 15$	$Le < 4,5$
2	$800 \leq Lr < 1.200$	B	$15 \leq E < 24$	$4,5 \leq Le < 6$
3	$1.200 \leq Lr < 1.800$	C	$24 \leq E < 36$	$6 \leq Le < 9$
4	$Lr \geq 1.800$	D	$36 \leq E < 52$	$9 \leq Le < 14$
5		E	$52 \leq E < 60$	$9 \leq Le < 14$

Source : Manuel de conception des aérodromes.

c) Classification basée sur les dimensions de l'aire d'atterrissage

TABLEAU N°7 : Classification suivant les dimension de la piste.

Dimension de base en m	Catégorie A	Catégorie B	Catégorie C		Catégorie D		
	PISTE DE CLASSE						
	A	B	C1	C2	D1	D2	D3
Longueur mini	2.620	2.220	1.320	1.620	560	1.120	920
Longueur maxi	3.920	2.620	1.620	2.220	1.060	1.820	1.320

LARGEUR DE LA BANDE							
Piste aux instruments	300	300	300	300	300	300	300 à 150
Piste à vue	150	150	150	150	150 à 100	150	150
Largeur de la bande aménagée	150	150	150	150	250 à 50	150 à 100	150

Source : I.T.A.C.

d) Classification des aérodromes à MADAGASIKARA

A MADAGASIKARA les aérodromes sont classés comme suit :

☞ Les aérodromes principaux :

IVATO	FIANARANTSOA	FORT DAUFIN
MAHAJANGA	TOAMASINA	SAMBAVA
TOLIARA	NOSY-BE	MORONDAVA
ANTSIRANANA	MANANJARY	SAINTE MARIE

☞ Les aérodromes secondaires : à Circulation Aérienne Publique (CAP) qui sont divisés en trois catégories :

- Catégorie I : Ce sont les 11 aérodromes recevant des vols réguliers et munis d'un service d'information des vols aéronautiques (AFIS).
- Catégorie II : Les aérodromes recevant des vols réguliers. Ils sont au nombre de 15.
- Catégorie III : Ce sont les 19 aérodromes à vols non réguliers.

☞ Les aérodromes à usage privé ;

☞ Les aérodromes à usage restreint.

Remarque :

L'aérodrome d'ANTALAHA se trouve dans la catégorie I. Pour la classification de l'OACI il est dans la catégorie II C. Son niveau de protection est le niveau 3.

Chapitre II : L' AERODROME D'ANTALAHA ET SON ENVIRONNEMENT

II.1/ LA COMMUNE URBAINE D'ANTALAHA

Ayant une superficie de 6127km², ANTALAHA se trouve dans la partie Sud Est du Faritany d'ANTSIRANANA.

Il est limité :

- ☞ Au Nord par le Fivondronana de SAMBAVA ;
- ☞ Au Sud par le Fivondronana de MAROANTSETRA ;
- ☞ A l'Est par l'Océan Indien ;
- ☞ Dans le coté Ouest ANTALAHA est la limitrophe du Faritany d' ANTSIRANANA avec celui de TOAMASINA.

Avec un relief formé de collines, vallées et bas fond et un climat chaud et humide à forte précipitation, ANTALAHA est une région très favorable à la culture de rente (vanille, girofle, ...) et aux activités touristiques si l'on ne parle que du Parc National Masoala qui est le plus grand parc de MADAGASIKARA.

Une grande partie de la population pratique l'agriculture et l'élevage puisqu'en milieu urbain le secteur non agricole ne comprend qu'un peu moins de 30% des travailleurs. En effet ANTALAHA est un grand producteur de culture de rente, en particulier la vanille où il est la capitale mondiale.

II.2/ ZONE D'INFLUENCE DE L'AERODROME D'ANTALAHA

La zone d'influence d'un aérodrome est très vaste. Si on considère l'aérodrome d'ANTSIRABATO, sa zone d'influence peut s'étendre sur toute la SAVA (SAMBAVA ANTALAHA VOHEMAR ANDAPA) et la région de MAROANTSETRA et MANANARA. Mais pour simplifier les limites on ne considère que la région où il est implanté c'est-à-dire ANTALAHA.

II.3/ ETUDE SOCIO ECONOMIQUE DE LA ZONE D'INFLUENCE

Le Fivondronana d'ANTALAHA, comme tout autre région a ses potentialités, ses problèmes et ses particularités. Dans ce sous chapitre nous allons présenter globalement ANTALAHA suivant ses caractères sociaux et économiques.

II.3.1/ Population et démographie

a) Présentation de la population

La population d'ANTALAHA qui représente à peu près 15% de la population d'ANTSIRANANA est à composition ethnique très variée, à savoir : les Betsimisaraka représentant la majorité, les Tsimihety, les Antaimoro, ...

TABLEAU N°8 : Composition ethnique de la population.

Ethnie	Betsimisaraka	Tsimihety	Antaimoro	Autres
Pourcentage	60%	15%	15%	10%

Source : Service de la population de SAMBAVA.

b) Urbanisation

On ne connaît pas de chiffre récent sur le taux d'urbanisation mais ANTALAHA connaît le taux d'urbanisation le plus élevé de la région de la SAVA. Cela est due aux importantes infrastructures socio administratifs et de centre d'activités économiques fluorescentes.

Les jeunes ruraux viennent se scolariser en ville et des jeunes filles de 15 à 25 ans en provenance des régions avoisinant (MAROANTSETRA) arrivent à ANTALAHA en quête de travail.

c) Niveau d'instruction de la population

La proportion de scolarité est peu élevée pour une région relativement riche comme ANTALAHA. C'est en milieu urbain qu'on rencontre un niveau assez élevé de scolarisation. Cette situation est due à la nécessité de travailler chez les hommes et la grossesse précoce chez les femmes. Dans le milieu rural, bon nombre de paysans estiment que l'étude ne

présente aucun intérêt car elle a cessé d'être un moyen de promotion sociale, en plus bon nombre de diplômés restent sans travail.

En matière de scolarisation on a les indicateurs suivants :

Effectif des élèves primaires : 29.035 élèves

Taux de réussite au CEPE : 57,1%

Taux de redoublement : 39,9%

Ratio élèves/maître primaire : 78,1 élèves

Source : INSTAT

Dans le domaine de l'éducation les établissements public et privé sont représentées comme suit :

EPP publiques : 162

EPP privées : 12

CEG publics : 8

CEG privés : 2

Lycée public : 1

Lycées privés : 2

Source : INSTAT

II.3.2/ Potentialité local

Avec un petit coup de pousse de la part de l'Etat et une bonne volonté de ses habitants, on peut dire qu'ANTALAHA est une région à potentialité économique très promettant.

a) Route et transport

Depuis les deux dernières années, les responsables de la région concentrent beaucoup de leurs efforts dans les secteurs route et transport. ANTALAHA possède à moins de 13 Km de routes bitumées mais elles sont déjà en très mauvais état, faute d'entretien.

Après le passage des deux cyclones HUDAH et GAFILO, les routes de la ville sont maintenant en cours de reconstruction suite au bitumage de la RN5A qui la lie avec SAMBAVA.

Outre ses grands pas du secteur transport, ANTALAHA possède aussi quelques infrastructures qui assurent sa bonne marche :

- ☞ Piste d'aérodrome (pouvant recevoir un avion type ATR 42 et HS 748) ;
- ☞ Logistique pétrolier : SOLIMA ;
- ☞ Station de service SOLIMA : 2
- ☞ Taxi ville ;
- ☞ Taxi brousse qui assure la liaison de la ville avec les milieux ruraux ;
- ☞ Le port est en court d'extension et l'évolution du transport maritime est assurée par des chantiers navals artisanaux locaux qui construisent des bateaux en bois avec une capacité allant jusqu'à 100 T et munis des matériels de navigation de plus en plus sophistiqués (radio BLU, radio VHF, Radar, GPS)

Le transport maritime relie la région avec MAROANTSETRA, TOAMASINA et la côte Est de l'île.

b) Sécurité et santé publique

La sécurité territoriale est assurée par :

- ☞ Le commissariat de police ;
- ☞ La gendarmerie.

Comme toute autre région, ANTALAHA dispose aussi des infrastructures nécessaires pour préserver la santé publique.

La liste suivante donne les effectifs des établissements publics et privés s'occupant de la santé publique :

Secteur public

CSB1 : 16

CSB2 : 9

CHD2 : 1

Secteur privé

CSB1 : 1

CSB2 : 4

Source : RGPH 1993

c) Information et télécommunication

La région dispose de différentes installations pour informer ses habitants et assurer un acheminement rapide des informations.

- Service de la poste ;
- Cabinet téléphonique ;
- Recette de 1^{ère} classe ;
- Télécommunication : type infrastructure CP
Centrale OFCT (numérique).

☞ **Radio et réseau téléphonique privés**

- Radio de proximité : 5 ;
- Télévision locale : 2 ;
- Réseau de téléphone cellulaire : ORANGE et MADACOM

d) Elevage et agriculture

Une grande partie de la population pratique l'agriculture et/ou l'élevage. Selon l'enquête DIRASSET PNUD, 8% des emplois seulement seraient non agricoles. Selon la même étude, en milieu urbain le secteur non agricole ne comprend qu'un peu moins de 30% des travailleurs. La majorité de la population urbaine tire son moyen de subsistance de l'agriculture ou du moins partiellement.

☞ **L'élevage**

L'élevage de volaille tient la première place car elle est le moins difficile et le plus rentable dans la région. L'élevage bovin y est important mais il ne suffit pas à ravitailler la ville.

Voici l'effectif cheptel en l'an 2000 :

Bovin	11.560 têtes
Porcin	27.000 têtes
Ovin	90 têtes
Caprin	100 têtes
volaille	199.600 têtes

Source : INSTAT

☞ **L'agriculture**

On peut dire que l'agriculture tient la première place sur les activités de la population, pourtant la production des agriculteurs ruraux n'arrive qu'à assurer partiellement la couverture de leurs besoins fondamentaux. Cette situation est due à l'insuffisance des terres aménagées, de la précarité des moyens de travail et du manque de capitale nécessaire pour financer les aménagements agricoles.

TABLEAU N°9: Répartition des surfaces cultivables et surface cultivées en [ha]

Surface totale	Surface cultivable	Surface cultivée
612.700	176.057	37.959

Source : Annuaire de la statistique agricole 2002.

Le tableau ci après nous donne une aperçue de la superficie occupée par un type de culture quelconque par rapport à la surface totale cultivée.

TABLEAU N°10 : répartition de la superficie en [ha] par spéculation.

Surface totale cultivée	Culture vivrière	Culture de rente	Culture industrielle	Fruit et légume
37.959	19.435	9.205	1.774	5.715

Source : Annuaire de la statistique agricole 2002.

D'après ce tableau ANTALAHA est donc une région à forte diversification de spéculation à prédominance culture de rente. C'est la résultante de la stratégie adoptée par les paysans face à la fluctuation des prix de produits de rente. Après la destruction des cultures de rentes par le cyclone HUDAH en 2000, la superficie cultivée en culture vivrière a beaucoup augmenté.

A cet effet le tableau ci-dessous nous donne les productions en tonnes des différentes cultures les plus pratiquées à ANTALAHA.

TABLEAU N°11 : Production agricole en tonne de 1998 à 2001

Désignation	Production /an			
	1998	1999	2000	2001
Arachide	5	5	10	15
Cacao	5	5	5	5
Café	226	2.420	2.310	2.350
Canne à sucre	2.720	2.705	2.690	2.700
Girofle	30	40	40	40
Haricot	15	15	15	15
Maïs	495	510	495	500
Manioc	21.570	17.315	17.240	18.100
Paddy	22.500	22.800	21.100	23.000
Poivre	10	15	20	20
Patate douce	1.425	1.510	1.505	1.530
vanille	435	710	360	365

Source : Annuaire de la statistique agricole 2002.

On remarque une baisse de production à cause du passage des cyclones.

• Conditionnement – Stockage - Exportation

Pour les cultures de rentes, en plus des produits locaux, les opérateurs économiques vont acheter leurs produits dans toute la SAVA ainsi qu'à MAROANTSETRA, MANANARA et MANDRITSARA pour être ensuite stockés, mis en norme et exportés à l'étranger.

Comme exportateurs les plus connus de la région, on peut citer :

- RAMANANDRAIBE Exportation S.A ;
- Société HENRI Fraise Fils et Compagnie ;
- Etablissement GERMAIN Michel Mimi ;
- Société LOMONE ;
- Société THU NAM ;
- Société BEMIRAY
- Société LOPAT ;

- Société DUBOSC ;
- Société SORAMA.

e) Perspective du secteur tourisme

Comme nous l'avons déjà mentionné précédemment le secteur tourisme est l'un des grands atouts de la sous préfecture d'ANTALAHA. Le climat et le site sont très favorables aux activités touristiques.

Les plages, les spécialités gastronomiques, l'accueil chaleureux des habitants et les restaurants font que c'est un lieu idéal pour passer les vacances d'été. Pour les amoureux de la forêt et des animaux, le plus grand Parc Nationale de MADAGASIKARA se trouve à 52 Km de la ville et ANTALAHA possède jusqu'à 89.817 ha de forêts classées.

On peut encore dire que la filière tourisme est encore inexploitée dans la région, vue l'absence d'une structure décentralisée du tourisme et l'insuffisance d'infrastructure d'accueil.

La liste ci après nous donne le nombre des infrastructures touristiques de la région.

- Agence de voyage : 1
- Hôtel restaurant : 4
- Hôtel : 7
- Restaurant : 5
- Chambre d'hôtel : 70
- ONG : 2

Source : INSTAT

Maintenant que la RN5A est en cour d'être bitumée, ANTALAHA ne sera plus jamais à l'écart des autres villes de la province d'ANTSIRANANA. Les visiteurs n'auront plus de difficulté à y parvenir.

Avec le développement de l'aérodrome dans le sens à recevoir un avion plus grand et plus moderne, ANTALAHA pourrait devenir une porte d'entrée ou de sortie des touristes venus visiter la partie Nord de MADAGASIKARA. Le transport d'aides en cas de passage de cyclone sera plus économique par l'utilisation de plus gros avions.

II-3-6 Aperçu géologique et climatique

a) Aperçu géologique

La géologie d'ANTALAHA est formée de différents types de roches d'origine volcanique (granit, gabbro, mignonnettes), qui se sont formées à la surface ou à l'intérieur de la terre. Suite au passage fréquent des violents cyclones et l'abondance de pluie, des phénomènes érosifs changent le paysage cristallin en relief accidenté.

b) Aperçu climatique

Le climat d'ANTALAHA est caractérisé par l'existence de deux saisons distinctes :

- une saison chaude et humide, de forte précipitation entre novembre et avril où les cyclones sont de passage ;
- une saison fraîche, du mois de mai au mois d'octobre pendant laquelle le nombre de jour de pluie augmente.

La sous préfecture d'ANTALAHA possède deux stations météorologiques :

- A l'aéroport d'ANTSIRABATO à 6m d'altitude, 50°20de longitude Est et 15°00 de latitude Sud, c'est la station exploitée par la météorologie nationale et le service de la navigation aérienne depuis 1954 où il a été créé ;
- A 60m d'altitude et équipée d'un radar qui a été mis en place depuis 1979, créée en 1975, elle peut détecter les cyclones à une très grande distance et permet ainsi aux responsables locaux de prendre les dispositions nécessaires pour la protection des personnes et des biens en période cyclonique.

☞ Pluviométrie

La zone d'ANTALAHA est caractérisée par une forte pluviométrie, avec une moyenne de 2000mm et il n' y a pas de mois sec.

TABLEAU N°12 : Pluviométrie moyenne annuelle.

Station	Période	Pluviométrie annuelle	Nombre de mois service
Aérodrome	1961-1990	2376	1
	2000-2002	2099	2

Source : Direction des exploitations météorologique.

TABLEAU N°13 : Pluviométrie moyenne mensuel pendant la période de 1961 à 1990.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Pluie	358,1	245,8	306,3	225,8	166,1	176,9	170,1	188,6	90,9	92	143,8	212,6
Nombre de jour	20	17	20	19	19	20	24	24	19	17	18	19

Source : Direction des exploitations météorologiques.

☞ **Température**

Comme toute autre zone côtière, il fait chaud pendant l'été et pendant l'hiver la température ne dépasse pas 18°.

Le tableau ci après nous donne la température moyenne pendant la période de 1961 à 1990.

TABLEAU N°14 : Température moyenne annuelle de 1961-1990

			Températures [°c]		
Station	Altitude [m]	Période	Annuelle	Moi le plus chaud	Moi le plus froid
Aérodrome	6	1961-1990	24,4	26,6	21,9

Source : Direction des exploitations météorologique.

TABLEAU N° 15 : Température moyenne mensuelle pendant la période de 1961-1990.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Maxi	22,4	22,5	22,4	21,9	20,4	19	18,4	18,1	18,4	19,3	20,7	21,9
Moyenne	26,3	26,6	26,3	25,7	24,3	22,8	22,1	21,9	22,4	23,4	24,7	25,9
Mini	30,3	30,7	30,2	29,6	28,2	26,7	25,9	25,7	26,4	27,5	28,8	30

Source : Direction des exploitations météorologique.

• **Vent**

Lors de l'étude d'une implantation d'un aérodrome, la connaissance des intensités du vent ainsi que de sa direction est d'une importance capitale car elles déterminent la direction idéale de la piste en évitant la dominance des vents traversiers qui pourraient nuire à son exploitation en toute circonstance.

TABLEAU N°16 : Moyenne de l'intensité du vent pendant la période de 1961 à 1990.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Dir	SW/ S	SW/ S	SW/ S	SW/ S	SW/ S	SW/ S	SW/ S	S	S	S/SE	S/SE	S/SE
Vent max	101	216	115	79	72	76	86	72	90	72	68	79
Vent moy	7	7	7	8	9	10	11	10	10	9	8	7

Source : Direction des exploitations météorologique.

II.4/ DESCRIPTION DE L'AERODROME D'ANTALAHA

II.4.1/ Localisation

L'aérodrome d'ANTALAHA est situé à ANTSIRABATO à 12 Km de la ville. Il est d'accès facile car la route qui y mène est bitumée et est encore en bon état.

II.4.2/ Historique de l'aérodrome d'ANTALAHA

L'aérodrome d'ANTALAHA a déjà existé vers les années 50 à ANTSIRABATO, dans une zone basse où la formation alluvionnaire est très développée. La piste n'était pas encore revêtue et était constituée par de la terre végétale d'une épaisseur de 20cm, puis d'un limon sableux jaune plus ou moins cohésif, surmonté dans un certain endroit d'une couche de macadam épaisse de 20cm.

Vers 1968, le Service de la Navigation Aérienne (SNA) a débloqué un financement de bitumage partiel des pistes en terre. ANTSIRABATO a eu sa part et ils ont décidé de bitumer le seuil 17,6 du côté Nord, la bretelle et l'aire de stationnement.

En 1978 est né le projet de renforcement de la piste pour recevoir un Boeing 737, mais faute de moyen financier, il n'a jamais vu le jour et a été remplacé par une réception d'un avion type HS748.

Les travaux se sont déroulés en deux étapes comme suit :

- ☞ Terrassement et couche de fondation en 1982 par TOUZET International ;
- ☞ Couche de base et revêtement en 1984 par la société COLAS.

Pendant ces Travaux, ils ont complètement détruit l'ancienne chaussée, changé la direction de l'axe de quelques degrés dans le sens trigonométrique, ce qui a donné la piste actuelle.

Il n'y a jamais eu d'entretien périodique qu'en l'an 2000 où COLAS a mis un tapis d'usure en enduits superficiel.

En 1997, l'Association ANDRY DEVELOPPEMENT assure la gestion de l'aéroport après impulsion de l'Union EUROPEENNE qui avait consenti un financement pour réhabiliter les aires aéronautiques sous réserve de la mise en place d'un système de gestion privé de l'aéroport.

Le 02 octobre 1997, le gestionnaire de l'aérodrome a demandé à la Société d'Etude et de Contrôle de l'Aéronautique, une étude géotechnique en vue d'une vérification de la piste pour la réception d'HS748 ou ATR42 en raison de deux mouvements par jour.

Cette dernière étude a été complétée par une recherche de matériaux pour une extension et renforcement pour la réception d'un Boeing 737.

II.4.3/ Caractéristiques de la piste

La piste actuelle appartient à la classe D2, assurant les services aériens régionaux utilisables en toute circonstance dans les conditions de vol à vue et a une longueur de 1.193m sur une largeur de 25m inscrit dans une bande d'envol de 1260,24mx150m.

Sur une altitude de 6m sa situation géographique est :

- ☞ 15° 00' de Latitude Sud ;
- ☞ 50° 15' de Longitude Est.

Son altitude maximale est de 7,182m et nous allons prendre dans notre étude comme température de référence la valeur 26.6°C.

La disposition de la piste d'envol est illustrée par le plan de masse et le plan d'approche en annexe.

II.4.4/ Les installations terminales

Pour notre aérodrome les installations terminales sont constituées par :

- ☞ Une aérogare ;
- ☞ Un parc de stationnement de véhicule qui reçoit tous les véhicules reliant ANTALAHA ville et l'aéroport ;

- ☞ Un bloc technique et un tour de contrôle où travaillent le chef de l'aérodrome et l'opérateur de service communiquant aux pilotes toutes les informations nécessaires pour assurer la sécurité des avions ;
- ☞ Un central électrique qui est la seule source d'énergie de l'aérodrome utilisant un groupe électrogène de l'ACM ;
- ☞ Une chambre moto pompe ;
- ☞ Un château d'eau pour le ravitaillement en eau de toutes les installations qui en ont besoin ;
- ☞ Une sécurité incendie.

II.4.5/ L'aire de mouvement de l'aérodrome d'ANTSIRABATO

a) Les seuils

La piste est munie de deux seuils :

- ☞ Le QFU 36 se trouvant sur le côté Sud de l'aérogare et à une altitude de 6m par rapport au niveau de la mer. Nous allons prendre ce seuil comme point kilométrique de référence PK (0+000).
- ☞ Le QFU 18 qui se trouve sur le côté Nord de l'aérogare, à une altitude de 5m par rapport au niveau de la mer et considéré comme PK fin de la piste ;

b) Les raquettes

La piste est munie de deux raquettes sur les deux seuils pour le virage des avions. Le tableau ci après nous donne l'emplacement des raquettes.

TABLEAU N°17 : Position des raquettes

Raquettes	Distance par rapport au seuil en [m]	Emplacement par rapport à l'axe
1	0	Ouest
2	1.113	Est

Source : Etude personnel du plan de masse.

c) La bretelle

La bretelle qui est encore en état de fonctionnement mesure 15m de large et 89,20m de long. Son axe se situe au PK 0+649.

d) L'aire de stationnement

L'aire de stationnement qui est toujours en état de fonctionnement se trouve sur le côté Ouest de la piste et a une dimension de 80mx65m.

II.5/ SITUATION DE TRAFICS – FRETS – PASSAGERS

Faute d'archivage des anciens trafics, on n'a pas pu avoir les trafics des années précédant l'an 2000, pour notre étude on va utiliser les trafics allant de 2001 à 2003.

II.5.1/ Mouvement annuel des avions

Le tableau ci après nous montre le trafic des avions de 2001 à 2003.

TABLEAU N°18 : Nombre d'atterrissage par an.

Années	Atterrissage
2001	693
2002	473
2003	743

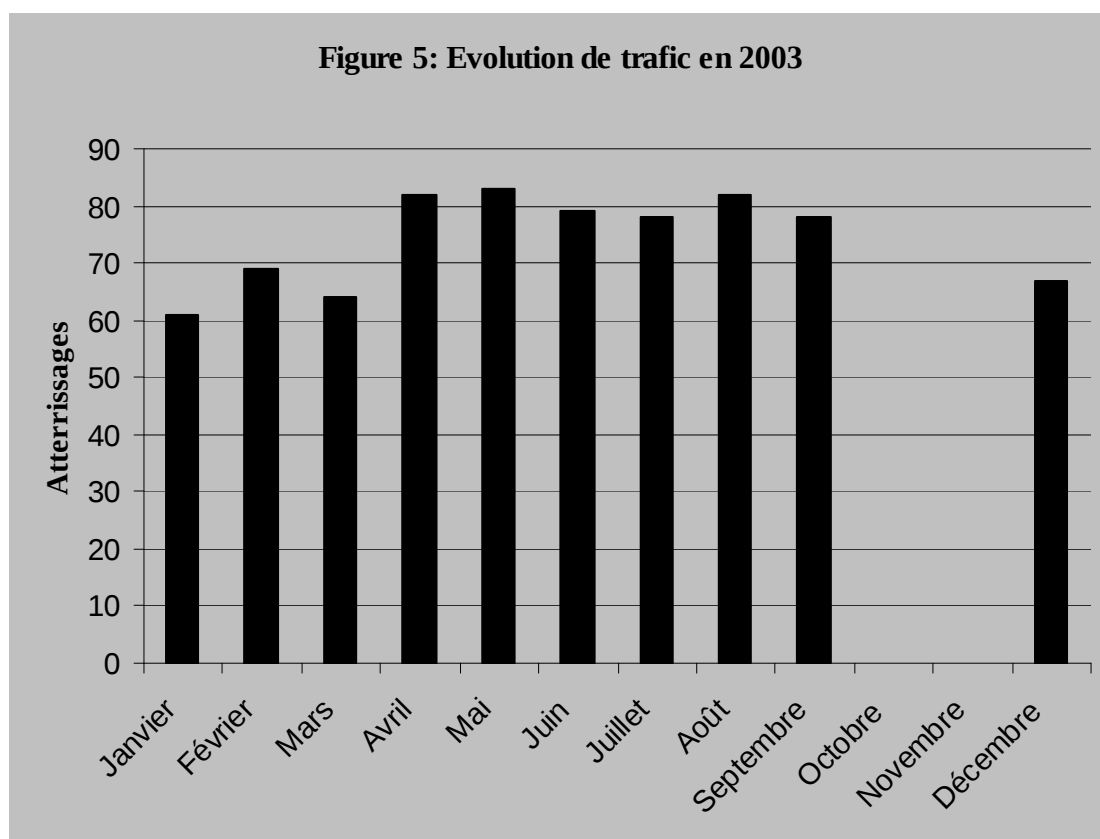
Source : Association ANDRY DEVELOPPEMENT ANTALAHA

La baisse du nombre de mouvement en 2002 est due à l'impossibilité d'atterrissage dans la région pendant la crise de 2002. Pour connaître l'évolution du trafic pendant une année et voir la période de pointe des avions au cours de l'an, nous allons analyser le tableau donnant le nombre d'atterrissage mensuel en 2003.

TABLEAU N°19 : Nombre d'atterrissage mensuel en 2003.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Att	61	69	64	82	83	79	78	82	78	nd	nd	67

Source : A.C.M



On remarque une incohérence entre les chiffres donnés par l'Association ANDRY DEVELOPPEMENT et ceux donnés par l'ACM. Cela est peut être parce que les responsables de l'aérodrome à ANTALAHA ont oublié de mettre à jour l'enregistrement de certains vols au cours des mois. D'après ce tableau, le nombre d'atterrissage augmente du mois d'Avril au mois de Septembre.

II.5.2/ Flux annuel de passagers

TABLEAU N° 20 : Effectif annuel de passagers.

Année	Débarquement	Embarquement
2001	3.602	9.763
2002	5.950	6.637
2003	8.568	9.401

Source : Association ANDRY DEVELOPPEMENT.

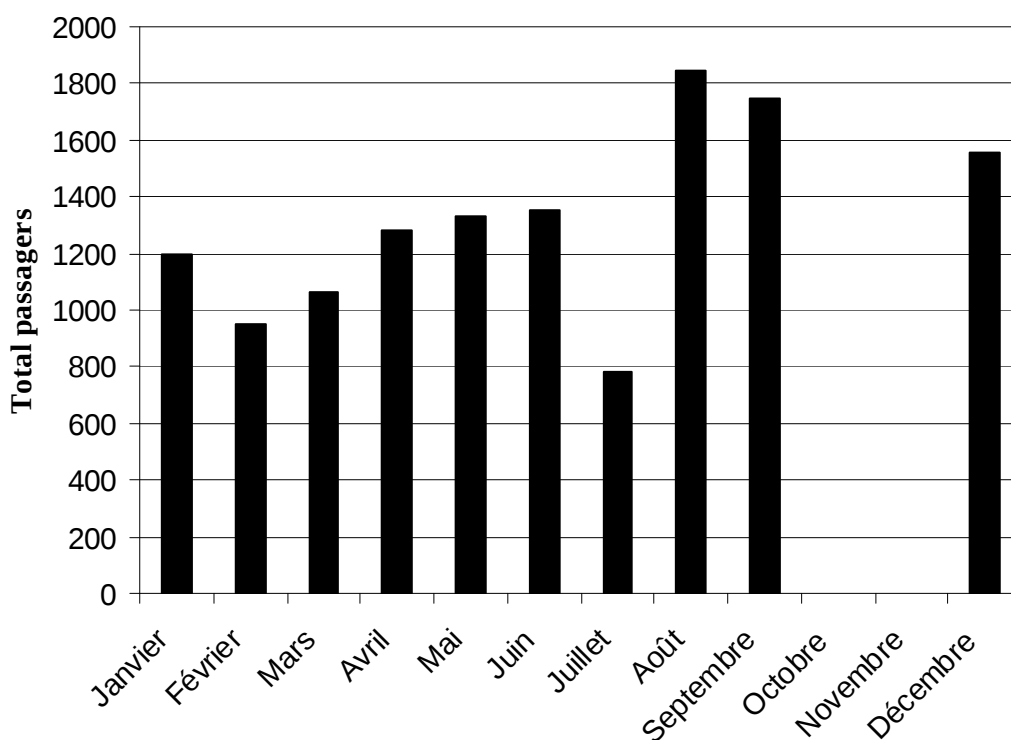
Le flux mensuel de passagers en 2003 est donné par le tableau ci après

TABLEAU N°21 : Statistique mensuel de passagers.

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Emb	444	443	471	674	657	695	319	792	881	nd	nd	807
Deb	757	510	592	607	675	658	461	1.052	867	nd	nd	752
Tot	1.198	953	1.063	1.281	1.332	1.353	780	1844	1.748	nd	nd	1.559

Source : A.C.M.

Figure 6: Variation du nombre de passagers en 2003.



En analysant le tableau ci-dessus et en comparant les deux figures, on remarque qu'il y a bien rapport entre le nombre d'atterrissage et le flux de passagers.

Le nombre de passagers ne cesse d'augmenter à partir du mois d'Avril jusqu'à la fin de l'année. Cette augmentation est due au déplacement des touristes et des vacanciers en quête de climat tropical, à la fête de l'indépendance et aux fêtes de fin d'année où les familles se rejoignent.

II.5.3/ Masse annuelle de fret

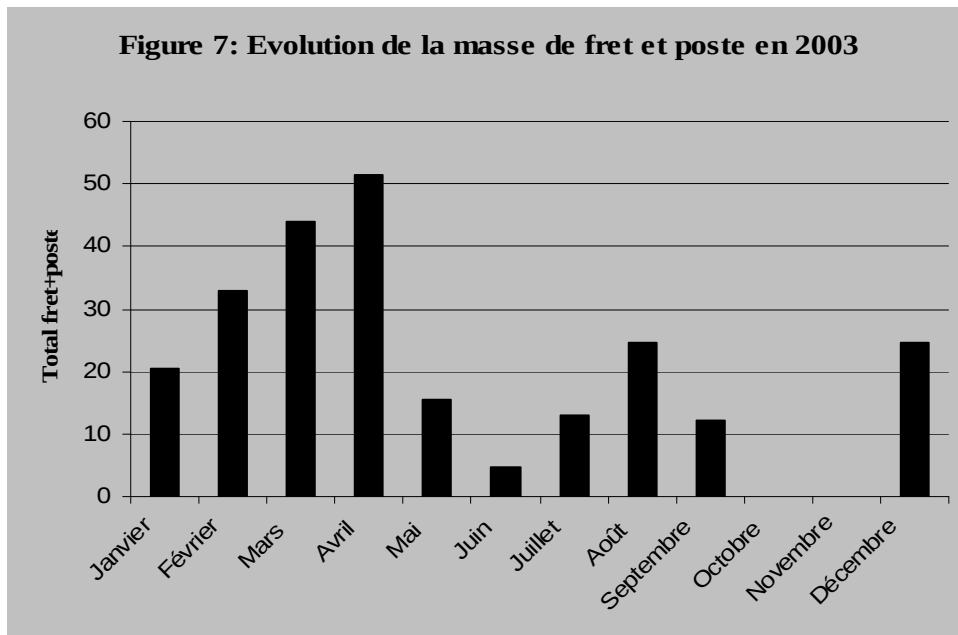
Pour l'aérodrome d'ANTSIRABATO, la masse de fret est représentée par les produits agricoles d'exportation où la part de la vanille est prépondérante. Les débarquements sont composés des cargaisons de vanille de MAROANTSETRA et de MANANARA transitant à ANTALAHA puis acheminées à destination d'IVATO d'où elles sont exportées.

Le tableau ci-dessous nous donne la masse da fret enregistrée à chaque mois pendant l'année 2003.

TABLEAU N°22 : Fret et poste mensuel en tonne en 2003.

Mois	Fret + Poste		
	Débarquements	Embarquements	Total
Janvier	10748	9,588	20,336
Février	11056	21,894	32,950
Mars	14,115	29,770	43,885
Avril	13,116	38,399	51,515
Mai	5,501	10,034	15,535
Juin	1,140	3,440	4,580
Juillet	9,824	3,037	12,861
Août	23,497	1,044	24,541
Septembre	8,752	3,381	12,133
Octobre	Nd	Nd	Nd
Novembre	Nd	Nd	Nd
Décembre	10,954	13,615	24,569

Source : A.C.M



Le tableau et la figure ci-dessus nous confirme bien que le fret dans l'aérodrome d'ANTALAHA est en majorité les produits de rentes à exporter. On remarque une corrélation entre l'augmentation des frets et la saison des récoltes des produits agricoles d'exportation.

II.5.3/ PREVISION DE TRAFICS – FRETS – PASSAGERS

La connaissance du trafic à venir est très importante pour un aérodrome dans la mesure où elle permet de justifier la nécessité éventuelle d'une extension et d'évaluer les besoins futurs pour l'évolution de la mode d'exploitation.

Les prévisions de trafic donne généralement des résultats cohérents. Elles servent en effet, à dimensionner les installations terminales et/ou vérifier la cohérence du système aéroportuaire, en ce qui concerne sa capacité de trafic, tant au niveau de l'espace aérien qu'au niveau des aires de manœuvre, des bâtiments, des aires de stationnement et des zones d'activité de l'arrière poste.

Il existe plusieurs méthodes pour calculer les prévisions mais puisque nous n'avons pas beaucoup de données de trafic annuel, alors nous allons utiliser la fonction de développement linéaire qui s'écrit :

$$Y(t) = a \times t + b$$

Avec :

- a : la vitesse de développement de Y ;
- b = Y(0) : la valeur initiale de Y ;

- t : le rang des années à partir de 2004.

Pour la prévision de trafics nous allons utiliser la fonction : $T_n = T_0 \times (1 + \alpha)^{n-t_0}$

Avec :

- T_n : le trafic prévu pour l'année de rang n ;
- T_0 : le trafic à l'année de référence ;
- t_0 : l'année de référence ;
- t_n : l'année où on prévoit le trafic T_n ;
- α : le taux de croissance de trafics.

a) Prévision de trafic

TABLEAU N°23: Prévision de trafic 2004 à 2013

Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Trafic	768	795	823	852	882	913	944	978	1012	1047

Source : Etude personnelle.

Avec : $t_0 = 2001$, $T_0 = 693$, $\alpha = 0,035$.

b) Prévision de passagers

TABLEAU N°24 : prévision de passagers de 2004 à 2013.

Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Passagers	20.271	22.573	24.875	27.177	29.479	31.781	34.083	36.385	38.687	40989

Source : Etude personnelle.

Avec : $a = 2.302$ et $b = 17.969$

c) Prévision de fret en tonnes

TABLEAU N°25 : Prévision de fret de 2004 à 2013.

Année	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Fret	376,955	443,447	509,939	576,431	642,923	709,415	775,907	842,399	908,891	975,383

Source : Etude personnelle.

Avec : $a = 66,492$ et $b = 30,46$

Conclusion partielle

ANTALAHA possède les atouts nécessaires pour permettre un accroissement économique très compétitif mais cela dépend encore d'un grand effort de la part de la population et surtout de la bonne volonté des responsables de la collectivité décentralisée de la région.

Le développement d'une région est pourtant en relation avec les infrastructures disponibles. C'est dans cette optique que les responsables de l'exploitation de l'aérodrome d'ANTALAHA veulent introduire un nouveau type d'aéronef car cette approche pourrait attirer l'attention des investisseurs vers la région, ce qui pourrait enfin faire bouger les autres secteurs.

D'après les analyses que nous venons de faire, on voit qu'ANTSIRABATO peut accueillir un minimum de mouvement d'avion type Boeing737, mais à son état actuel, la piste pourrait-elle supporter cette charge ?

La réponse à cette question nous mène dans la partie II de la présente étude.

Partie II: **ETUDES TECHNIQUES**

Chapitre III : ETATS DES LIEUX

III.1/ GENERALITE

Dans un projet de construction quelconque, il est toujours indispensable de procéder à une étude d'état des lieux. Pour un projet de construction d'une chaussée, cette étude permet de connaître ce qui existe sur le lieu où l'on va construire l'ouvrage ainsi que dans ses environs afin de pouvoir prendre les mesures nécessaires pour l'exécution des Travaux.

Dans notre cas, l'étude d'état des lieux nous permet d'évaluer les qualités fonctionnelles et les qualités structurelles de la chaussée existante et de connaître ce qu'il y a sur la zone d'extension et l'espace environnant. De ce fait, en plus de la campagne d'auscultations visuelles, diverses expériences doivent être exécutées :

- ☞ Une campagne de mesures de déflexion ;
- ☞ Des sondages sous chaussée et dans la zone d'extension ;
- ☞ Des essais in situ ;
- ☞ Des essais en laboratoire.

Ces études permettent de prendre des décisions sur les travaux à faire, le type de structure à mettre en œuvre et leur mode d'exécution compte tenu des interprétations faites sur les résultats des essais, en suivant la règle de l'art.

III.2/ DEGRADATIONS RELEVÉES

III.1 1/ Auscultations visuelles

Faute d'entretien, la couche de roulement se trouve maintenant dans un état critique. L'étude de son état actuel révèle les dégradations suivantes :

- ☞ Des faïençages ;
- ☞ Des fissures de fatigue ;
- ☞ Des arrachements des matériaux.

S'il n'y a pas intervention immédiate ces dégradations pourraient s'aggraver et aboutir jusqu'à l'apparition :

- ☞ d'orniérage ou frayée;
- ☞ de profil en W;
- ☞ de la peau de crocodile jusqu'à la pelade.

A ces stades, ce n'est plus la couche de roulement qui est en danger mais toute la structure de la chaussée, car l'eau va pouvoir s'infiltrer modifiant ainsi la teneur en eau des couches sous jacentes et diminuer leur portance.

Le phénomène de rejet augmente la glissance de l'aire de mouvement donc remet en question la sécurité des avions pendant leur déplacement au sol. Il rend difficile la mise en rotation des roues lors de l'impact à l'atterrissage et le freinage des avions surtout en cas de décollage interrompu pour des raisons techniques.

III.3/ MESURE DE DEFLEXION

Pour connaître le comportement actuel de la piste d'envol sous l'effet de trafic et diagnostiquer la structure afin de délimiter les tronçons homogènes, il a été effectué des mesures de déflection à la poutre de BENKELMAN sous l'effet d'une charge de 13t en raison de 20m sur trois axes en allant du seuil 17,6 vers le seuil 37,6:

- ☞ à 2,50 du bords du côtés gauches ;
- ☞ à 2,50m du bord du côté droites ;
- ☞ sur l'axe de la piste.

D'autres essais ont été effectués dans l'aire de stationnement et la bretelle.

III.3.1/ Rappel théorique

Sous les contraintes modérées, le sol peut être assimilé à un matériau élastique. On peut alors supposer le rapport entre déformation et contrainte. Cependant, ceci n'est qu'une hypothèse car en réalité les sols et les matériaux routiers ont un comportement viscoélastique qui se manifeste par la variation de la déformation avec la vitesse d'application des charges.

Le principe de la mesure de déflexion est qu'il reste une déformation rémanente après suppression de la charge. En effet en chargeant le sol pendant un temps limité lors de la mesure de déflexion on observe :

- ☞ Une déformation totale qui est la déformation enregistrée sous charge qu'on va appeler : Dt.
- ☞ Une déformation rémanente qui est la déformation résiduelle après la déchargement qu'on va appeler: Dr.

La déflexion élastique est alors : $D = Dt - Dr$

III.3.2/ Résultats

Les résultats sont donnés sur les tableaux ci après.

TABLEAU N°26 : Déflexion sur la piste en (1/100 mm).

N°	Coté gauche	Axe	Coté droite
1	60	50	62
2	52	56	82
3	54	62	78
4	44	60	74
5	46	48	64
6	64	56	60
7	62	50	86
8	62	92	126
9	66	58	80
10	80	36	72
11	94	56	62
12	90	90	96
13	78	82	96
14	114	68	86
15	36	94	102
16	84	80	114
17	80	78	88
18	116	80	90
19	82	54	90
20	76	68	100
21	80	90	78
22	58	68	80
23	74	76	80
24	92	78	114
25	54	56	114
26	62	66	96
27	70	64	92
28	52	62	140
29	70	94	96

30	64	68	120
31	62	76	92
32	76	66	118
33	80	76	100
34	58	66	116
35	58	76	98
36	56	68	80
37	70	66	86
38	66	76	80
39	74	60	90
40	56	70	58
41	76	56	80
42	72	86	72
43	74	88	94
44	50	80	66
45	58	90	60
46	86	94	100
47	66	60	76
48	68	80	114
49	88	72	80
50	88	74	80
51	76	68	96
52	92	68	100
53	60	98	62
54	76	64	110
55	62	60	76
56	62	62	104
57	90	94	160
58	62	134	100
59	104	96	140

Ecart type	16,2	16,1	21,2
Moyenne	70,9	72,3	91,6
D₉₀	91,9	93,2	119,2

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement.

Figure 8: Variation des déflexions sur le côté gauche.

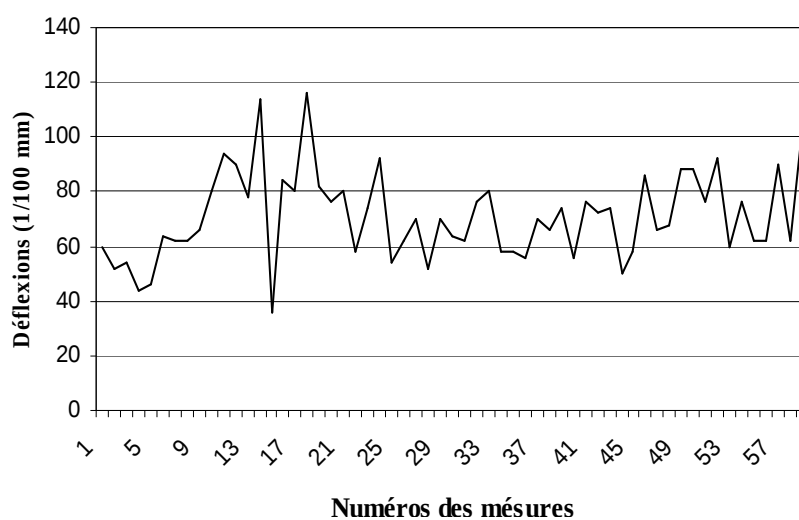


TABLEAU N°27 : Déflexion sur la bretelle en (1/100 mm.)

N°	Côté gauche	Axe	Côté droit
1	94	172	72
2	106	60	88
3	94	68	102
4	104	72	104

Ecart type	6,4	45,8	12,8
Moyenne	99,5	93,0	91,5
D₉₀	107,8	152,6	108,2

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement

TABLEAU N°28 : Déflexion sur l'aire de stationnement en (1/100 mm).

N°	d	N°	d	N°	d
1	56	13	70	25	68
2	96	14	74	26	50
3	70	15	72	27	60
4	100	16	68	28	66
5	82	17	82	29	76
6	78	18	68	30	64
7	88	19	88	31	60
8	74	20	64	32	72
9	72	21	76	33	66
10	84	22	76	34	56
11	66	23	68	35	60
12	76	24	74		

Ecar type	10,8
Moyenne	72,0
D₉₀	86,0

Source : Rapport d'étude de l'Association Andry Développement.

III.3.3/ Interprétation des résultats des mesures de déflexion

a) Piste

Sur la piste, les valeurs sont en général <100. 36% des résultats sont supérieurs ou égales à 100. Les grandes valeurs sont observées en majorité sur le côté droit de la piste. En effet sur la piste on a des déflexions caractéristiques inférieures à 100 sauf sur le côté droit.

b) Bretelle et aire de stationnement

Sur la bretelle les valeurs de déflexion sont très irrégulières et se trouvent entre 60 à 106. Une valeur plus grande, égale à 172 mm/100 a été trouvée à l'axe. On peut dire que cette partie présente un comportement suspect pour une chaussée d'aérodrome.

Dans l'aire de stationnement les valeurs tournent autour de 70 et 80. Ce qui révèle que cette partie de notre aérodrome est encore en bon état de fonctionnement structurel. En effet la déflexion caractéristique sur cette partie est de 86 mm/100.

En analysant ensemble ces résultats, on peut déduire que la piste d'ANTSIRABATO commence à entrer dans un état de fatigue vu l'apparition des fissures et des faïençages qui sont des dégradations indicateurs de portance. Les chaussées travaillent encore dans le domaine élastique sauf sur la bretelle où on a une valeur soupçonneuse.

Plus tard seront les interventions plus lourdes, donc coût d'entretien et de renforcement élevé. Il serait alors opportun de penser au plus tôt à l'entretien et au renforcement de la piste pour pouvoir continuer les travaux par l'extension tout en évitant la coupure de trafic.

III.4/ ETUDE GEOTECHNIQUE

III.4.1/ Généralité

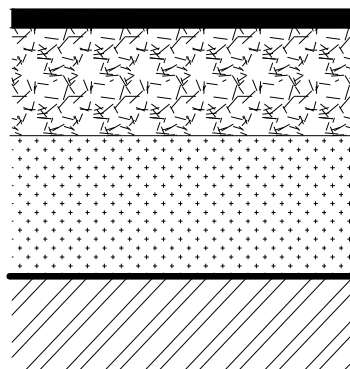
Maintenant que nous connaissons le comportement de la chaussée sous charge, nous allons alors essayer de connaître les matériaux qui la constituent et leurs caractéristiques. Dans la présente étude nous analyserons les sondages sous chaussées, les essais in situ et les essais au laboratoire.

III.4. 2/ Sondage sous chaussée

a) Aire de mouvement

La reconnaissance de la plateforme a été effectuée par sondage à la tarière à main descendu jusqu'à différente profondeur sur la bordure des chaussées. Les sondages ont été effectués dans l'aire de mouvement et les zones d'extensions suivies d'une prise d'échantillon pour essais au laboratoire.

Les sondages effectués sur la chaussée existante nous permet d'avoir la structure représentée d'après le schéma de la coupe type ci-après.



Revêtement: ES 1 à 2cm

Couche de base: G.C.N.T 19 à 23cm

Couche de fondation: S.L.J 21 à 30cm

**Plate forme: Limon argileux
Limon sableux**

Figure 9 : Coupe type de la chaussée existante.

En comparant ce résultat avec le profil en travers type de la chaussée, on peut imaginer qu'ils ont pris de l'épaisseur sur la couche de fondation et rattrapé l'excès à la mise en œuvre de la couche de base.

b) Zone d'extension

Dans la partie non revêtue de la piste, les sols sont constitués par de la terre végétale d'une épaisseur allant de 20 à 40 cm puis de sables limoneux et de sables argileux.

En allant plus loin dans la zone d'extension on note la présence de terre végétale marécageuse d'une épaisseur moyenne de 0,30m puis du sable limoneux jaunâtre. La côte du terrain naturel se trouve à -1,50m de la côte de la piste actuelle.

c) Nappe phréatique

Le niveau de la nappe phréatique varie d'un endroit à l'autre du site mais on ne connaît pas exactement où il se trouve. L'étude en 1978 faite par le L.N.T.P.B révèle un niveau de la nappe de -1.00 à -2.00 de la côte du terrain naturel.

Les coupes de sondages sont représentées par les figures suivantes.

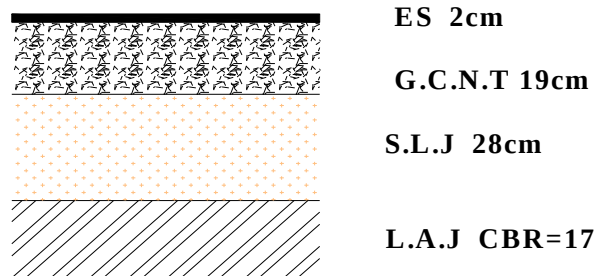


Figure 10 : Sondage sur PK 0+180.

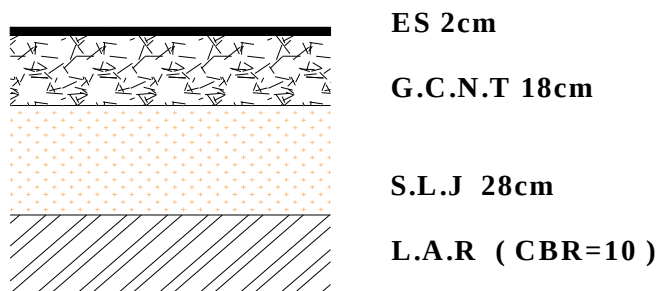


Figure 11 : Sondage sur PK 0+360.

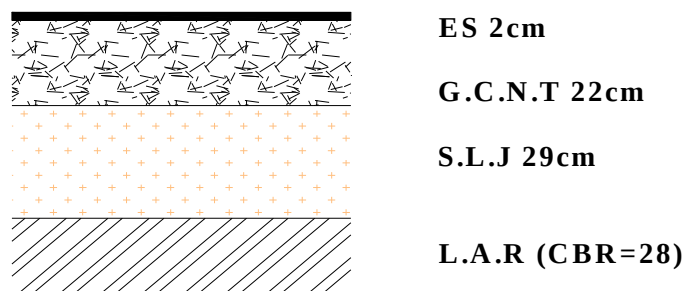


Figure 12 : Sondage sur PK 0+980.

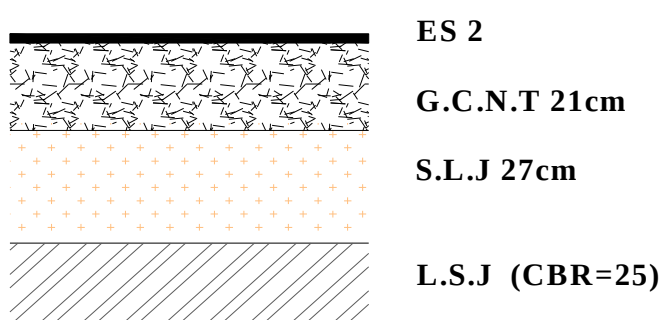


Figure 13 : Sondage sur PK 1+100.

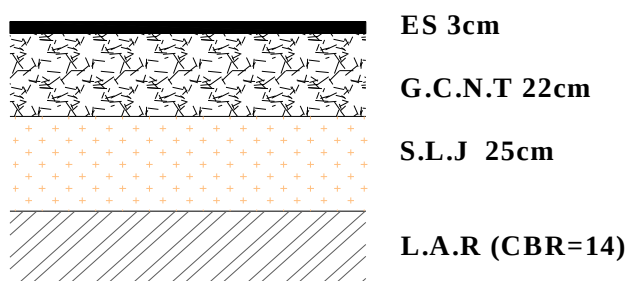


Figure 14 : Sondage sur la bretelle.

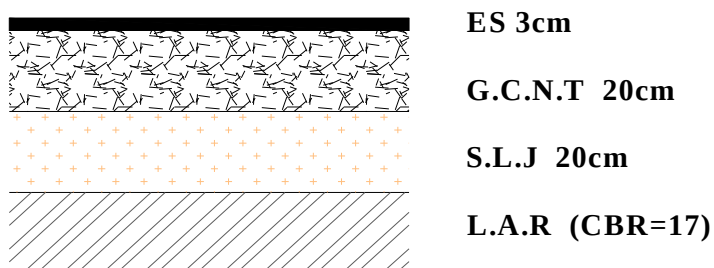


Figure 15 : Sondage sur l'aire de stationnement.

Dans la zone non revêtue nous avons les résultats de sondages ci après.

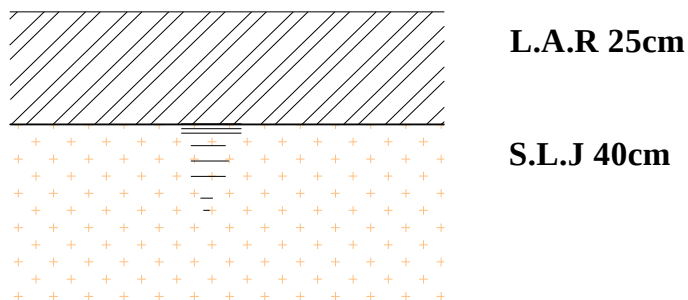


Figure 16 : Sondage sur PK1+ 213.

Au même niveau que la piste

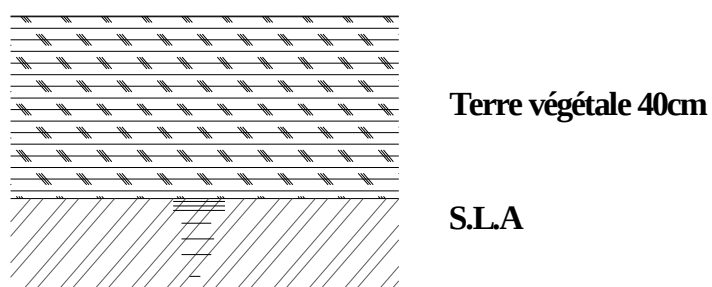


Figure 17 : Sondage sur PK1+243.

A -0,65m de la côte de la piste existante.

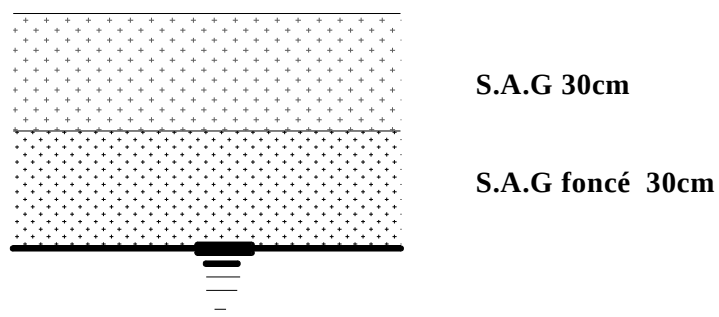


Figure 18 : Sondage sur PK1+273.

A -1,10m de la côte de la piste existante.

III.4.3/ Essais in situ

Afin de connaître les caractéristiques in situ des matériaux et les comparer avec les caractéristiques théoriques trouvés lors des essais au laboratoires, des essais ont été effectués sur place.

Les essais réalisés in situ sont les essais de compacités effectués à l'aide d'un densitomètre à membrane au niveau de la plate forme.

Les résultats de ces essais sont rapportés dans le tableau de la page suivante :

TABLEAU N°29 : Résultats des essais in situ au niveau de la plate forme.

Localisation	Caractéristiques en place			Indice de compactage
	Densité apparente γ_h T/m ³	W _{nat} %	Densité sèche max γ_d T/m ³	
PK 0+180	1,88	10,7	1,70	85
PK 0+360	1,78	18,7	1,50	96
PK 0+980	2,02	14,0	1,77	89
PK 1+100	1,95	1,57	1,69	85
Bretelle	1,83	14,5	1,59	100
Aire de station	2,04	17	1,74	99

Source : Rapport d'étude de l'association Andry développement.

Nous pouvons en tirer comme remarque que l'indice de compactage se trouve entre 85 et 100% : sur la piste les indices de compactage n'atteignent pas 90% avec une moyenne de 89%. C'est une valeur critique pour une couche de plate forme d'un aérodrome.

Au niveau de la bretelle et de l'aire de stationnement les valeurs s'avèrent admissibles.

III.4.4/Essais au laboratoire

a) Sol de plate forme

TABLEAU N°30 : Résultats des essais au laboratoire sur sol de plate forme.

Position	Nature	Fine %	W _{nat} %	Limite d'Atterberg			Caractères O.P.M		Essais C.B.R	
				W _L %	W _P %	I.P	γ _{dmax} T/m ³	W _{opm} %	4 jours	Gonflement %
PK0+180	L.S.J	23	10,7	30,8	14,1	16,7	2,01	10,1	17	0,09
PK0+360	L.A.R	83	18,7	91,6	43,7	47,9	1,57	27,2	10	1,22
PK0+980	L.A.R	23	14,0	27,8	18,4	9,4	1,99	9,5	28	0,15
PK1+100	S.L.A.J	16	1,57	21,0	15,5	5,5	1,96	10,5	25	0,09
Bretelle	L.A.R	70	14,5	72,0	40,0	32,0	1,58	25,8	14	1,18
Aire de station	L.A.R	73	17,0	81,9	38,6	43,3	1,75	19,2	17	2,00

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement.

En faisant la différence entre la teneur en eau naturel et la teneur en eau optimum proctor on a les résultats suivants :

TABLEAU N°31 : Etude du W_{nat} par rapport à W_{OPM}. pour sol de plate forme.

Localisation	PK0+180	PK0+360	PK0+980	PK1+150	brettelle	A S
W _{nat} - W _{OPM}	0 ,6	-8,5	4,5	-8,93	-11,3	-2,2

Source : Etude personnel

De ces résultats on déduit que :

- ✓ La différence entre la teneur en eau naturel et la teneur en eau optimum est très irrégulière et élevée. Il y a des différences positives ce qui est très mauvaise pour les couches de remblais et les couches d'une chaussée.
- ✓ Les taux de gonflement sont admissibles (≤2%).
- ✓ On a une moyenne de valeur de CBR=18 et toutes les valeurs sont supérieures ou égales à 10.

b) Couche de fondation**TABLEAU N°32:** Résultats des essais au laboratoire sur le sol de fondation.

Position	Nature	Fine %	W _{nat} %	Limite d'Atterberg			Caractères O.P.M		Essais C.B.R	
				W _L %	W _P %	I _P	γ _{dmax} T/m ³	W _{opm} %	4 jours	Gonflement %
PK0+180	S.L.J	15	3,35	35,4	17,0	18,4	2,0	9,5	31	0,00
PK0+360	S.L.J	20	1,39	26,2	16,7	9,5	2,0	10,0	28	0,06
PK0+980	S.L.J	20	2,0	28,3	16,9	11,4	2,0	10,0	29	0,06
PK1+100	S.L.J	23	1,43	26,4	14,4	12,0	1,98	10,3	28	0,14
Bretelle	S.L.J	14	6,99	28,3	16,9	11,4	2,0	8,9	30	0,00
Aire de station	S.L.J	18	2,00	24,3	15,6	8,7	1,94	9,7	30	0,05

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement.

On remarque que les teneurs en eau naturelle sont plus faibles que celle de la plateforme comme nous le montre le tableau suivant :

TABLEAU N° 33 : Résultats des essais au laboratoire sur le sol de fondation.

Localisation	PK0+180	PK0+360	PK0+980	PK1+180	Bretelle	Aire de stat
W _{nat} - W _{OPM}	-6,15	-8,61	-8	-8,87	-1,91	-7,7

Source : Etude personnelle.

- ☞ Les valeurs des indices CBR se trouvent à la limite admissible pour une couche de fondation ;
- ☞ Les pourcentages de fine sont tous inférieures à 35 et on a une valeur moyenne de 18,33 ;
- ☞ Les indices de plasticité sont dans l'ensemble en dessous de 12 sauf sur une partie du début de la piste où on observe une valeur de 18,4.

c) Zone d'extension

Des sondages et des essais ont été réalisés dans les parties non revêtues de la zone d'extension. Tandis que dans la zone marécageuse, il n'a pas été possible de faire des essais faute de moyen convenable au milieu mais la consultation de l'archive du L.N.T.P.B nous a permis de donner les caractéristiques approchées de la tourbe de cette zone.

Les résultats des essais sont portés sur les tableaux ci-dessous.

TABLEAU N°34 : Résultats des essais au laboratoire pour les zones non revêtues.

Position	Nature	Fine %	W _{nat} %	Limite d'Atterberg			Caractères O.P.M		Essais C.B.R	
				W _L %	W _P %	I.P	γ _{dmax} T/m ³	W _{opm}	4 jours	Gonflement %
PK1+213	S.L.J	13	9,81	19,3	16,5	2,8	1,88	10,4	10	0,00
PK1+243	S.L.A	17	1,67	21,0	13,8	7,2	1,94	9,7	33	0,06
PK1+273	S.A	16	17,4	31,4	19,5	11,9	1,85	11,0	31	0,00
PK1+273	S.A	16	15,9	28,4	23,2	5,2	1,80	11,0	23	0,07

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement.

TABLEAU N°35 : Résultat des essais dans la zone marécageuse.

Position	Nature	Etat naturel			Limite d'Atterberg			Oedometre		
		γ _h T/m ³	W _{nat} %	γ _d T/m ³	W _L %	W _P %	I.P	Pc bars	Cc	γ _s T/m ³
PK1+313	T.A.S.N	1,78	31,2	46	46	27	19	0,28	0,118	2,64
PK1+313	S.L.J	1,85	20,0	19	19	17	2	0,60	0,090	2,71
PK1+353	T.A.S.N	1,79	31,4	25	25	23	2	0,22	0,120	2,59
PK1+353	S.L.J	1,66	16,5	18	18	16	2	0,50	0,066	2,64

Source : Etude L.N.T.P.B 1978.

Il ressort de ces résultats que la teneur en eau naturel est très proche de la teneur en eau limite de liquidité, ce qui prouve la nature de la zone.

Dans les parties non revêtues de la piste on remarque que les matériaux sont de même nature que celle de la plateforme donc des matériaux de remblais de la piste.

Conclusion partielle

De tous les résultats que nous venons d'analyser, on déduit que les sous couches de l'aérodrome d'ANTALAHA ont été construit avec des matériaux provenant d'une même source et de qualités admissibles. Nous venons alors de justifier le niveau de service actuel de la chaussée malgré le manque d'entretien.

Mais soyons pessimiste car même si l'aire de mouvement de l'aérodrome d'ANTSIRABATO est encore opérationnelle, il ne faut pas croire qu'il va se tenir encore plus longtemps car la surface de la chaussée présente des dégradations indicatrices de fatigue. Cette situation représente un danger permanent, aussi pour le corps de la chaussée que pour les aéronefs qui la fréquentent.

III.5/ RECONNAISSANCE ET CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Selon le lieu d'extraction, les matériaux de construction peuvent coûter une somme considérable du fait du coût de transport. A cet effet, des reconnaissances ont été organisées dans les environs de l'aérodrome pour voir si on peut exploiter les gisements locaux pour réaliser les travaux de renforcement et d'extension de la piste.

Avant d'entrer dans les détails de ce paragraphe rappelons les caractéristiques des bons matériaux meubles et rocheux pour la confection d'une chaussée.

III.5.1/ Critères géotechniques des matériaux

a) Matériaux meubles

Les bons matériaux meubles ont les caractéristiques suivantes :

- ☞ Exempt de matériaux organique ;
- ☞ Avoir un faible gonflement ($\leq 2\%$) ;
- ☞ Facile à compacter.

TABLEAU N°36 : Critères géotechniques des matériaux meubles.

Destination	γ_d T/m³	IP	Gonflement %	Fine après compactage %	CBR
Couche de fondation	≥ 2	≤ 12	$\leq 0,5$	< 30	≥ 30
Couche de plate forme	$\geq 1,8$	≤ 20	$\leq 2,0$	-	≥ 10

Source : Recherche personnelle.

b) Matériaux rocheux

Les caractéristiques suivantes sont exigées des matériaux rocheux pour couche de base et pour gravillons de revêtement.

TABLEAU N°37 : Critères géotechniques de matériaux rocheux.

Destination des matériaux	MDE	LA	Adhésivité en %	Coefficient de fragmentation statique	Coefficient d'aplatissement global
Revêtement	< 20	<30	>90	<20	≤25
CB	< 25	<35	-	<35	≤25

Source : Recherche personnelle.

III.5.2 /Découverte des matériaux meubles et rocheux

a) Matériaux d'emprunt

Un emprunt a été trouvé non loin de la piste d'atterrissage sur le côté Est, sur la route allant vers ANTSIRABATO au croisement de celle allant vers la cité météo. Les résultats d'étude de l'association Andry Développement ne sont pas très satisfaisants pour des matériaux destinés à la confection d'un sol de plate forme. Pour le même emprunt le L.N.T.P.B donne les résultats représentés dans le tableau suivant.

TABLEAU N°38 : Caractéristique des matériaux d'emprunt.

Nature	Fine %	W _{nat}	Limite d'Atterberg			Caractères O.P.M		Essais C.B.R	
			W _L %	W _P %	I.P	γ _{dmax} T/m ³	W _{opm}	4 jours	Gonflement %
Limon argilo-sableux marron	62	4,06	52	30	20	1,62	25,8	17	0,86

Source : Etude LNTPB 1978.

Vue cette divergence de résultats, il serait bon de faire une étude plus approfondie sur cet emprunt avant de l'utiliser.

b) Gîte pour couche de fondation

Pour la confection de la couche de fondation, un gîte a été localisé derrière les logements du service de la navigation aérienne.

TABLEAU N°39 : Caractéristiques des matériaux de gîte.

Nature	Fine %	W _{nat}	Limite d'Atterberg			Caractères O.P.M		Essais C.B.R	
			W _L %	W _P %	I.P	γ_{dmax} T/m ³	W _{opm}	4 jours	Gonflement %
Sable limono argileux marron	14	6,99	28,3	16,9	11,4	2	8,9	34	0,00

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement.

c) Gisement rocheux

Des matériaux rocheux de construction ont été découverts près du village d'ANTSIRABATO à 2500m de l'aérodrome.

TABLEAU N°40 : Critères géotechniques des matériaux rocheux.

Nature	MDE	LA		Adhésivité	CF statique
	Sur classe 10 /14	Sur classe 10/25	Sur classe 10/14	Bitume 80/100	
Basalte	15	13	12	5-15	12

Source : Rapport d'étude de l'association Andry Développement.

Chapitre IV : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

IV-1/ GENERALITE

Ce nouveau chapitre est consacré au dimensionnement et à l'aménagement de l'aire de mouvement de la chaussée aéronautique d'ANTSIRABATO.

Particulièrement, il comprend :

- ✓ Le dimensionnement de renforcement et d'élargissement de la chaussée existante ;
- ✓ Dimensionnement de la nouvelle chaussée de prolongement de la piste d'atterrissage ;
- ✓ Le dimensionnement de la longueur de la piste d'envol pour recevoir le B737 de type 400.

Avant d'entrer dans les détails, il convient de se rappeler les spécificités de la chaussée aéronautique par rapport à la chaussée routière. Ces spécificités tiennent d'une part des particularités du trafic (faible par rapport au trafic routier) manifestant à travers les sollicitations mécaniques (charges particulièrement élevées) des contraintes d'exploitations ainsi que l'agressivité du climat d'autre part. Chaque partie de l'aire de mouvement est soumise à une sollicitation qui est propre à elle à chaque passage d'un avion.

De ces particularités on est amené à prendre des dispositions spécifiques pour chaque aire dans le dimensionnement d'extension ou de renforcement.

Le tableau ci-dessous illustre la différence de charge entre chaussées d'aérodrome et des chaussées routières.

TABLEAU N°41 : Comparaison de charge routière et charge d'aérodrome.

Poids en t	Auto	Camion	Avions légers	Avions moyens	Avions lourds	Avions militaires
Poids par roue	0,3	6,5	0,2	7	22	
Poids par essieu ou jumelage	0,6	13	-	15	45	4
Poids par boggie	-	-	-	-	90	-
Pression de pneu gonflage (bar)	2,0	7,0	1,5	9,0	15	28

Source : S.T.B.A.

IV.2/ NOTION DE CHAUSSEE

IV.2.1/ Définition

Une chaussée est une surface aménagée sur le sol ou sur un ouvrage pour permettre la circulation des personnes et des véhicules roulants.

Elle comporte en générale de haut en bas :

- ☞ Une couche de surface composée d'une couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison ;
- ☞ Une couche de base ;
- ☞ Une couche de fondation ;
- ☞ Eventuellement un sous couche ou couche de forme.

Ces différentes couches reposent sur une plate forme support de chaussée ou sol support constitué du terrain naturel ou éventuellement d'une couche de remblais.

IV.2.3/ Les types de structure de chaussée

En générale, il existe trois types de structures de chaussée qui diffèrent par la nature et les caractéristiques des matériaux utilisés.

a) Structure souple

Une structure souple est une structure dont les couches sont composées de matériaux souples c'est-à-dire des matériaux non liés ou traités au liant hydraulique ou hydrocarboné. Le rapport entre le module de chaque couche superposée étant maintenu inférieur à 5.

b) Structure semi rigide

La structure semi rigide englobe les chaussées qui comportent une couche de base ou couche de fondation stabilisée au liant hydraulique ou au liant hydrocarboné.

c) Structure rigide

C'est une structure dont la couche de roulement est constituée par un matériau rigide, en générale d'une dalle en béton ordinaire ou en béton armé reposant sur une couche de fondation allant de 18 à 25cm d'épaisseur. La dalle en béton d'épaisseur minimum de 18cm peut être continue ou goudonnées.

De ces 3 types de structures est née une nouvelle type de structure dite structure composite qui émane de la combinaison de matériaux souples et de matériaux rigides. Elle résulte en générale du renforcement d'une chaussée rigide par une structure souple ou semi rigide.

IV.2.3/ Notion d'une épaisseur de la chaussée

a) Notion d'épaisseur équivalente / coefficient d'équivalence

A chaque matériaux de construction constituant une couche d'une chaussée correspond un coefficient dit « *coefficient d'équivalence* » que nous allons noter : a_i . Ce coefficient est en rapport avec la qualité ou les caractéristiques mécaniques du matériau correspondant. En effet ce coefficient est d'autant plus élevé que les caractéristiques du matériau constituant la couche considérée est meilleur.

Le produit de l'épaisseur réelle d'une couche avec le coefficient d'équivalence a_i correspondant s'appelle épaisseur équivalente.

Soit :
$$h_i = a_i \times e_i$$

Avec h_i : l'épaisseur équivalente d'une couche de chaussée.

e_i : l'épaisseur réelle de la couche i .

Le tableau suivant nous donne les coefficients d'équivalence des matériaux les plus utilisés pour la confection d'une structure d'une chaussée aéronautique.

TABLEAU N°42 : Coefficient d'équivalence des matériaux.

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Enrobé dense à chaux mince < 4cm.	1
Enrobé dense type béton bitumineux, binder.	2
Enduit superficiel	1
Grave bitume	1,5
Grave émulsion	1,2
Grave traité au liant hydraulique	1,5
Sol ciment	1,5
Sol bitume	1,5
Sol chaux	1,5
Grave concassé gradué	1,2
Sable traité au liant hydro (ciment, laitier)	1
Grave roulée	0,75
sable	0,5

Source : Cours d'aérodrome.

A défaut des valeurs de coefficient d'équivalence on peut appliquer la formule :

$$a_i = \sqrt[3]{\frac{E_i}{5000}}$$

Où E_i : le module d'élasticité de la couche i en [bars];

a_i : le coefficient d'équivalence de la couche i .

La valeur de E peut être obtenu à partir du CBR de la couche par la formule :

$$E = 50 \times \text{CBR}$$

b) Epaisseur d'une chaussée

☞ Chaussée souple

L'épaisseur réelle d'une chaussée souple est égale à la somme de l'épaisseur des différentes couches formant la structure de la chaussée qui, en les multipliant respectivement par leur coefficient d'équivalence, donnerait une épaisseur équivalente supérieure à l'épaisseur équivalente calculée à partir d'une méthode de dimensionnement.

On a alors la formule :

$$e = \sum e_i \quad \text{telle que} \quad h = \sum a_i \times h_i$$

Avec

e : l'épaisseur réelle de la chaussée. (cm) ;

e_i : l'épaisseur réelle de chaque couche. (cm) ;

h : l'épaisseur équivalente de la chaussée. (cm) ;

a_i : le coefficient d'équivalence de chaque couche.

☞ Chaussée rigide

La chaussée rigide peut être modélisée de plusieurs façons. Comme par exemple le modèle de Hogg, le modèle de Boussinesq ou celui de Wastergaard. Ce dernier est le plus utilisé pour les calculs de chaussées rigides.

Les hypothèses de calcul sont :

- ✓ Le sol est caractérisé par son module d'enfoncement et se comporte comme un liquide dense dont la réaction est proportionnelle à l'enfoncement ;
- ✓ La théorie des plaques est appliquée à la dalle qui est caractérisée par son module d'élasticité « E » et son coefficient de Poisson « ν » ;

A la phase d'exploitation de la chaussée rigide, la pression est largement répartie sous les charges et la dalle en béton accuse une faible déformation sous forme de dépression très étalée. On calcul en effet la chaussée rigide pour une charge bien déterminée et un sol dont les caractéristiques sont connus. On combine l'épaisseur et la résistance du béton.

c) **Mode de fonctionnement des différentes couches**

Pour une chaussée souple le complexe formé par le sol support et le corps de la chaussée est assimilé à un massif semi infini, homogène, isotrope de type Boussinesq. La structure est formée de trois couches de qualité croissante (de cohésion et de module d'élasticité croissante) de bas en haut ayant chacune les fonctions citées comme suit :

☞ **La couche de fondation : CF**

- Assure un support et un bon compactage de la couche de base ;
- Absorbe une partie des contraintes transmises par la couche de base et les repartit sur le sol support.

☞ **La couche de base : CB**

- Diffuse et diminue les contraintes sur la CF ;
- Constitue une bonne assise pour la couche de surface.

☞ **La couche de surface**

Rôle fonctionnel :

- Protège les couches inférieures contre l'infiltration d'eau (étanchéité) ;
- Assure la stabilité des avions par son bon uni ;
- Permet d'avoir une bonne rugosité pour assurer le freinage et la mise en rotation des roues lors des atterrissages.

Rôle structurel :

- Supporter les efforts tangentiels engendrés par les roues lors de l'impacte à l'atterrissage et des virages.

Pour les chaussées rigides, la dalle en béton assure à la fois le rôle de la couche de surface et de la couche de base. Elle est dimensionnée de façon à ce que la contrainte de compression par flexion soit admissible.

Elle peut être modélisée de plusieurs façons, à savoir le modèle de Hogg, le modèle de Burmister et celui de Wastergaard. Mais dans la plupart des cas, les méthodes de dimensionnement s'appuient sur la théorie dérivée de celle de Wastergaard dont les hypothèses sont les suivantes :

- ☞ Le sol se comporte comme un liquide dense, sa réaction est proportionnelle à l'enfoncement et il est caractérisé par son module de réaction K ;
- ☞ La théorie de plaque est appliquée à la dalle caractérisée par son module d'élasticité E et son coefficient de poisson ν ;
- ☞ Les dalles supposées de longueur infinie supportent les charges à son centre.

La couche de fondation a pour rôle de :

- ☞ Assurer la continuité de l'appui des dalles au droit des joints ;
- ☞ S'opposer au gonflement éventuel du terrain naturel ;
- ☞ Offrir une surface stable pour le bétonnage ;
- ☞ S'opposer à la remontée des fines par pompage au droit des joints.

Le principe de base est que les chaussées aéronautiques ou routières soient dimensionnées de manière à ce que la contrainte verticale σ_z au niveau du sol support soit admissible. Ce qui suppose que les couches supérieures supportent la majorité des charges.

IV.3/ CARACTERISTIQUES DES AERONEFS ET DU TRAFIC QUI INFLUENT AU DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.

IV.3.1/ Généralité

Les sous chapitres précédents étaient plutôt consacrés à l'étude des différents types de chaussée, leurs caractéristiques et leur comportement.

Maintenant que nous connaissons les détails fondamentaux sur les chaussées il est alors opportun pour la suite de prêter notre attention aux aéronefs ou du moins aux points importants qu'il faut connaître pour la construction aéronautique.

a) Comportement des pneumatiques sous l'effet des charges verticales

L'effet des charges verticales sur les pneumatiques peut être observé en faisant croître la charge appliquée sur l'essieu d'une roue munie d'une bande pneumatique.

De cette expérience on peut observer les faits suivants :

- ☞ Il existe une proportionnalité entre la charge et l'affaissement des pneumatiques ;
- ☞ A l'empreinte des pneumatiques, on observe pratiquement une pression égale à la pression de gonflage de la chambre à air ;
- ☞ La pneumatique est caractérisée par sa raideur qui est la pente de la courbe d'affaissement mesurée au centième de millimètre, en mm d'affaissement par 100km.

b) Comportement des pneumatiques sous l'effet des efforts de cisaillement

Les efforts de cisaillement sont surtout observés pendant les freinages, les brusques accélérations et les frottements des pneus à la surface de la chaussée. Des efforts horizontaux s'appliquent alors à la chaussée mais ils sont très difficiles à mesurer ou à calculer.

IV.3.2/ Notion d'atterrisseur

a) Définition de terme

On appelle atterrisseur l'ensemble des roues montées sur une jambe. L'ensemble des atterrisseurs constituent ce qu'on appelle le train d'atterrissage.

Suivant l'importance de charge supportée, on peut citer deux types d'atterrisseurs :

- ☞ **Les atterrisseurs principaux** : ils se trouvent en arrière et supportent à peu près 90% des charges. Selon le type d'avion son nombre varie de 2 à 4 ;
- ☞ **L'atterrisseur secondaire** ou l'atterrisseur au nez qui se trouve en avant et supporte le reste des charges.

Selon la géométrie des pneus et leur nombre sur la jambe, on peut citer plusieurs types d'atterrisseurs :

- ☞ Atterrisseur à roue simple ;
- ☞ Atterrisseur jumelage ou diabolos ;
- ☞ Atterrisseur tandem ;
- ☞ Atterrisseur boggie ;
- ☞ Atterrisseur complexe.

TABLEAU N°43 : Caractéristiques des atterrisseurs

Type d'atterrisseur	Exemple	V (cm)	E (cm)	Masse supportée (t)	Pression de gonflage des pneus (MPa)
Roue simple	Avion léger	-	-	< 5	0,3 à 0,6
Jumelage	Avion léger Court et moyen, courrier	50 à 90	-	5 à 40	0,6 à 1,2
Tandem	Avion militaire (configuration rare)	-	130 à 170	10 à 20	0,4 à 0,8

boggie	Tout type sauf avion léger. Principalement long courrier	40 à 140	100 à 180	20 à 90	1 à 1,6
V : Voie (distance entre deux roues d'un même essieu.) E : Empattement (distance entre l'essieu avant et essieu arrière.)					

Source : S.T.B.A.

b) Atterrisseurs types

Compte tenu de la variété de caractéristiques géométriques des atterrisseurs, la notion d'atterrisseur type a été introduite pour représenter les 3 catégories d'atterrisseur les plus répandues. Les caractéristiques ont été utilisées pour établir les abaques d'atterrisseurs types.

TABLEAU N° 44 : caractéristique des atterrisseurs types.

Atterrisseurs types	Voie (cm)	Empattement (cm)	Pression des pneus (Mpa)
Roue simple	-	-	0,6
Jumelage	70	-	0,9
Boggie	75	140	1,2

Source : S.T.B.A.

Les figures des pages suivantes illustrent la géométrie des atterrisseurs.

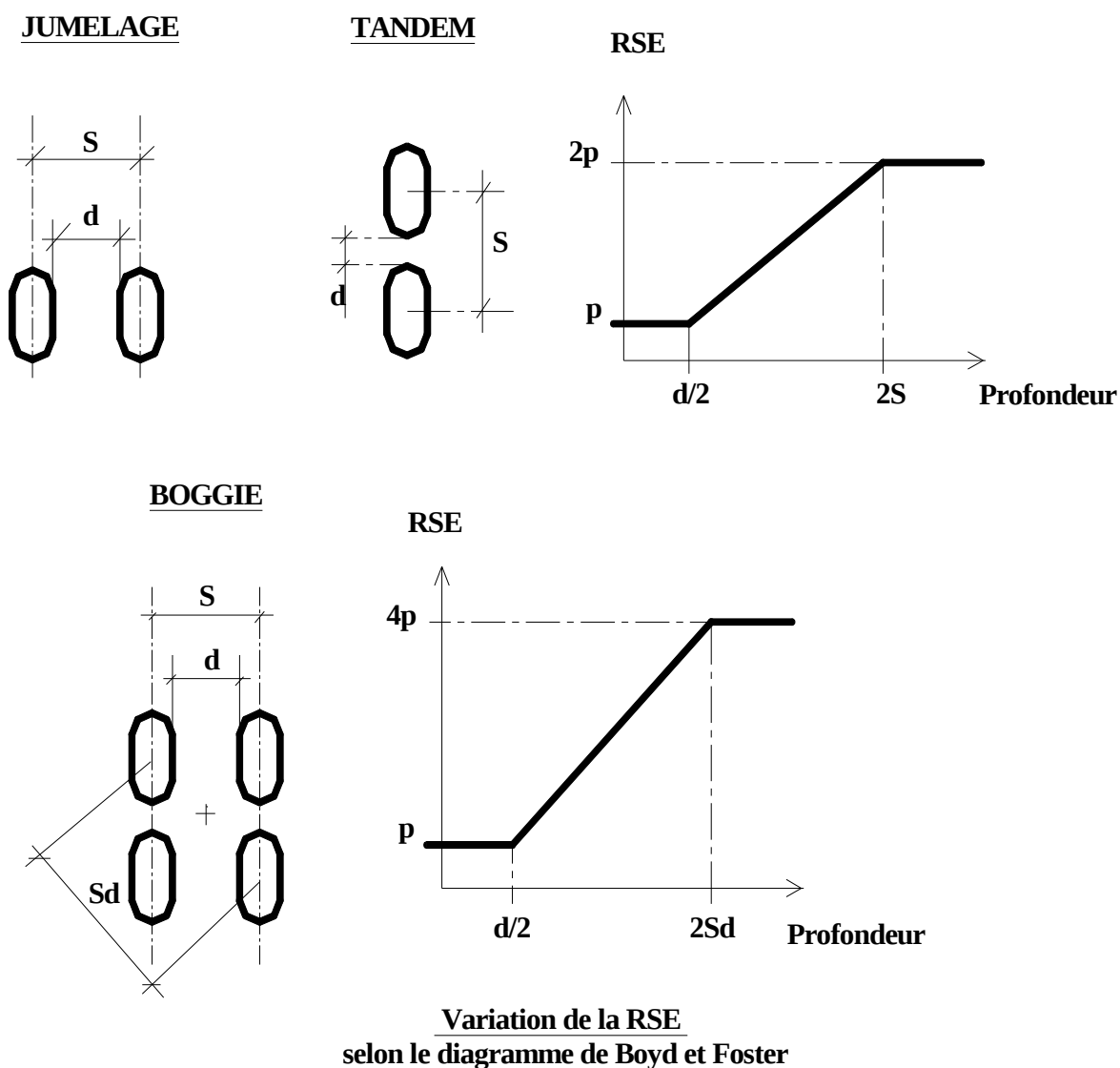


Figure 19 : Les atterrisseurs types.

La page suivante montre les atterrisseurs à configuration complexe.

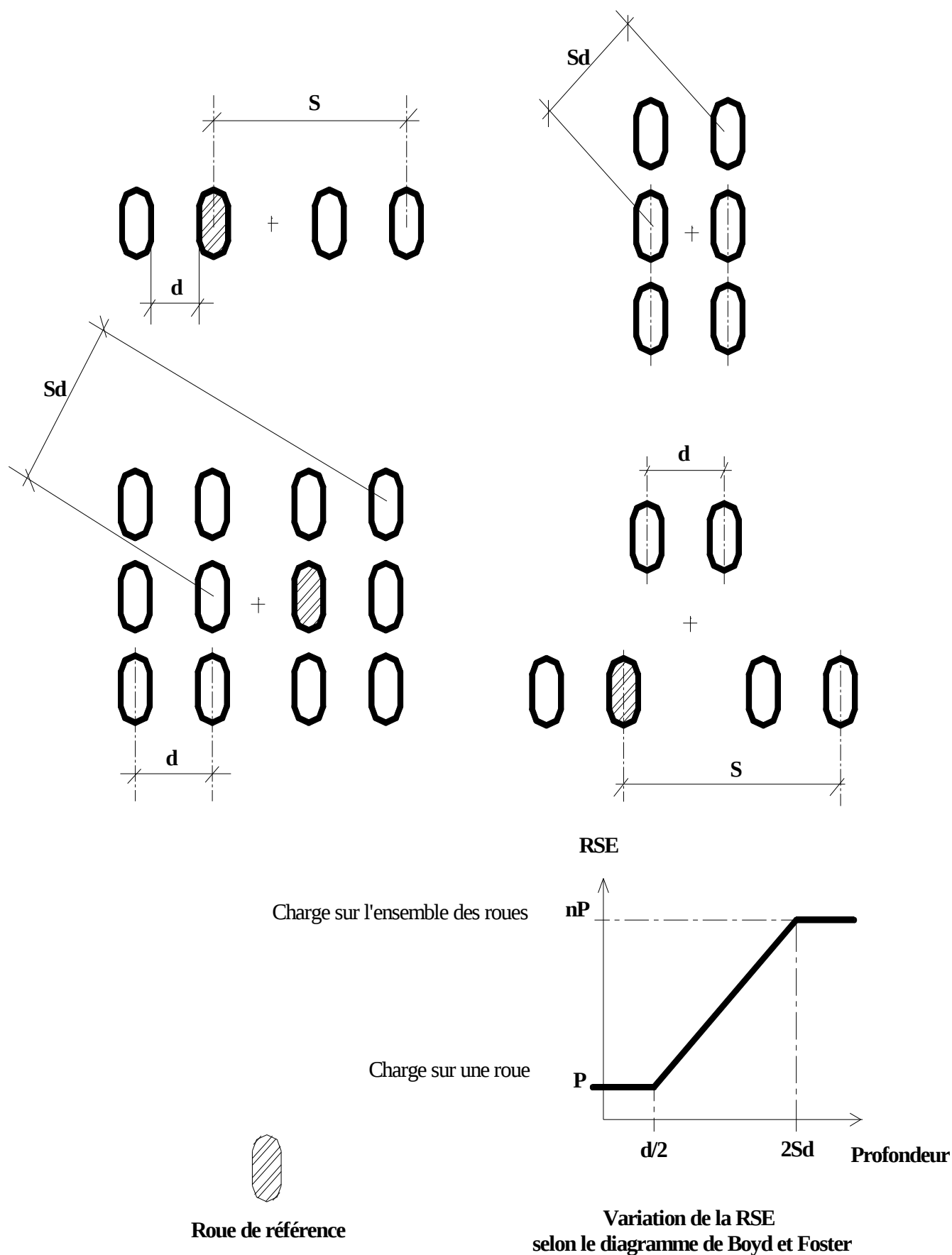


Figure 20 : Les atterrisseurs à configuration complexe.

Selon le type d'atterrisseur pris en considération, la valeur de « d » est obtenue par les formules suivantes :

Pour atterrisseur type jumelage ou boggie nous avons :

$$d = S - 0,26 \sqrt{\frac{p}{q}}$$

Pour atterrisseur tandem nous avons :

$$d = S - 0,437 \sqrt{\frac{p}{q}}$$

Où : p : Charge sur l'atterrisseur en (kg) ;

q : La pression de gonflage des pneumatiques en (MPa) ;

S ou Sd en (cm).

c) **Importance des charges**

Malgré le faible trafic par rapport aux chaussées routières, les chaussées aéronautiques sont appelées à supporter de très grandes charges pendant la circulation des appareils volants. Les contraintes supportées au niveau des différentes aires sont variées mais les plus sollicitées sont les parties où l'aéronef est immobile ou la circulation est lente (aire de stationnement, bretelle)

L'effet de chargement n'est pas trop sévère dans la partie centrale de la piste au décollage et dans les milles premiers mètres au-delà du seuil à l'atterrissage à cause de l'effet de sustentation des ailes dû à la vitesse élevée de l'avion. Il est toutefois à noter que l'avion exerce sa plus grande charge juste avant le décollage et plus particulièrement lors du cabrage par suppression de l'effet porteur de l'atterrisseur au nez.

Compte tenu de l'effet des charges dans les différentes parties de l'aire de mouvement, des coefficients de correction de charges sont appliqués à la charge de l'aéronef pour avoir la charge de calcul de dimensionnement.

Soit « K » le coefficient de pondération de charge suivant l'aire considérée. K est défini de la façon suivante :

TABLEAU N°45 : Coefficient de pondération en fonction de l'aire.

Aire considérée	Valeur de K
Piste et bretelle	1
Aire de stationnement	1.2
Accotement	0.7
Ante souffle et prolongement d'arrêt	0.5

Source : Cours d'aérodrome.

IV.4/ ETUDE DE VARIANTE

IV.4.1/ Proposition des variantes

Pour l'étude de rallongement de l'aérodrome d'ANTALAHA, on peut proposer quelques variantes que nous allons présenter dans le présent sous chapitre .On va ensuite étudier ces variantes afin d'en choisir une qui conviendrait à notre aérodrome.



Figure 21: Variante N°1
Prolongement dans les deux côté.



Figure 22: Variante N°2
Prolongement à sens unique vers le QFU36.



Figure 23: Variante N°3
Prolongement à sens unique vers le QFU18.

IV.4.2/ Choix d'une variante

La variante 1 consiste à une extension à partir des 2 seuils de la piste. Elle offre un aspect symétrique à la géométrie de la piste d'atterrissage par rapport à la position de la bretelle. Cependant le prolongement vers le coté Nord présente certains problèmes car elle se heurte à une route qui mène au village d'ANTSIRABATO, à des rizières des villageois et à une rivière. Par ailleurs elle pourrait exiger un grand investissement en terrassement vue la nature du sol et le niveau très bas du terrain par rapport à la côte du bout de la piste.

Par conséquent la variante N°1 ne nous convient pas, ce qui implique l'élimination de la variante N°2.

Le prolongement vers le Nord nous paraît être une bonne solution car la zone est dégagée et n'est pas occupée. En outre, la côte du terrain est plus haute et c'est d'ailleurs la seule variante qui nous reste.



Figure 24: La variante adoptée
Prolongement à sens unique vers le QFU 18.

IV.4.3/ Choix de la structure

Comme nous l'avons déjà constaté dans les paragraphes précédents, les différentes parties de l'aire de mouvement d'un aérodrome ne travaillent pas dans les mêmes conditions de charge. Cette situation pourrait mener à imaginer différentes structures selon l'aire considérée par crainte des effets qui pourraient mettre en doute la bonne tenue de la chaussée.

Les structures rigides supportent aussi bien les pollutions dues à la chute des carburants que la contrainte de compression rencontrée dans les aires de stationnement et les aires à circulation lente. Elles vieillissent moins rapidement que les chaussées souples sous réserve d'un entretien constant des joints, mais il faut noter qu'elles sont plus difficiles à mettre en œuvre et à renforcer. Par ailleurs elles sont souvent conseillées pour les forts trafics.

Par contre, les structures souples sont réalisées avec des matériaux naturels, des conditions moins sévères de mise en œuvre et peut être construit suivant un investissement à long terme.

En principe, le choix d'une structure d'une chaussée doit tenir compte des différents facteurs que nous citons ci-dessous :

- ✓ Les coûts de construction et d'entretien ;
- ✓ Les objectifs de gestion de chaussée ;
- ✓ Les conditions locales d'approvisionnement en matériaux. ;
- ✓ Le délai de mise en œuvre ;
- ✓ Les possibilités de phasage des Travaux et de renforcement ultérieurs ;
- ✓ Les conditions climatiques.

Dans le cas présent nous avons l'opportunité d'avoir à disposition tous les matériaux nécessaires pour permettre un renforcement et un rallongement souple. Il est d'ailleurs très rare de voir un renforcement d'une structure souple par une structure rigide ou des tronçons de piste à structure de types différents.

Vue la taille d'un investissement pour la mise en œuvre d'une chaussée rigide, la technique, le temps d'exécution dont elle découle et la situation actuelle de l'aérodrome d'ANTALAHA, cette dernière n'est pas la solution qui nous convient.

En conséquence, on est amené à adopter la variante de structure souple pour aménager la nouvelle chaussée d'extension, le renforcement et l'élargissement de l'aérodrome d'ANTALAHA en vue de recevoir un B737.

IV.5/ PROPOSITION DE METHODE DE DIMENSIONNEMENT

Il existe différentes méthodes pour dimensionner une chaussée aéronautique mais comme nous avons fait le choix de la structure souple, nous allons alors exposer les méthodes qui conviennent à cette dernière.

Pour le dimensionnement des chaussées souples on dispose de deux méthodes, à savoir :

- ✓ la méthode forfaitaire : « méthode CBR » ;
- ✓ la méthode optimisée.

IV.5.1/ Méthode forfaitaire ou méthode CBR

Cette méthode est la plus utilisée pour le dimensionnement d'une chaussée aéroportuaire. Elle a la particularité de ne tenir compte dans les calculs que de l'avion le plus contraignant. Comme nous l'avons déjà mentionné, l'ensemble sol support et corps de la chaussée est assimilé à un massif semi infini, homogène, isotrope de type Boussinesq.

La méthode permet de calculer l'épaisseur équivalente de la chaussée pour laquelle la contrainte produite par une charge normale de calcul notée « **P''** », avec une pression **q** uniformément répartie sur une surface circulaire est admissible.

En effet cette méthode ne se réfère pas à la contrainte verticale de compression mais au cisaillement maximal que le sol peut subir.

Pour obtenir la charge normale de calcul **P''**, on procède comme suit :

Soit **P** la charge maximale sur l'atterrisseur principale ou la charge désirée pour une catégorie d'atterrisseur appliquée **n** fois par jour pendant 10 ans.

P' est la charge réelle pondérée, obtenue en introduisant le coefficient de pondération de charge selon la fonction de l'aire pour **n** mouvements par jour pendant 10 ans.

On a alors **P' = K * P**

Le tableau N°45 nous donne la valeur de **K** comme suit :

Piste et bretelle	: K=1
Aire de stationnement	: K=1.2
Accotement	: K=0.7
Ante souffle et prolongement d'arrêt	: K=0.5

La charge normale de calcul **P''** est la charge qui correspond à **P'** mais pour 10 mouvements par jour pendant 10 ans.

CT étant le coefficient de correction de trafic, on a :

$$CT = 1,2 - 0,2 \log n$$

Avec **n** : le nombre de trafic par jour.

La charge normale de calcul est :

$$P'' = \frac{P'}{CT}$$

L'épaisseur équivalente de la chaussée est obtenue soit :

- ☞ en utilisant les abaques de dimensionnement pour les principaux avions, joint en annexe ;
- ☞ en appliquant la formule de Boyd et Foster.

Il faut connaître que l'application de ces deux méthodes exige la connaissance de :

- la charge normale de calcul P'' ;
- CBR de la plate forme.

a) La formule de Boyd et Foster

Boyd et foster étaient deux ingénieurs chercheurs du « Corps of Engineers Américain ». Ils ont élaboré par expérience une formule pour calculer l'épaisseur équivalente d'une chaussée aéronautique.

La formule s'écrit :

$$h = \sqrt{\frac{P}{10,29 \times q} \left[4,231 - 5,013 \times \log\left(\frac{CBR}{q}\right) + 2,46 \times \left(\log\frac{CBR}{q}\right)^2 - 0,473 \times \left(\log\frac{CBR}{q}\right)^3 \right]}$$

Où :

- h : l'épaisseur équivalente de la chaussée en cm ;
- CBR : le CBR de la plate forme ;
- P : la charge par roue simple équivalente (RSE) en kg ;
- q : la pression de gonflage des pneus en MPa.

Dans la condition où : $\frac{CBR}{q} < 20$

L'erreur sur l'épaisseur par rapport à la formule précédente n'excède pas 4%. On peut alors appliquer la formule simplifiée suivante :

$$h = \sqrt{P \times \left(\frac{1}{0,57 \times CBR} - \frac{1}{32q} \right)}$$

b) Influence de la couche de forme

Dans le cas où la chaussée comporte une couche de forme, l'épaisseur équivalente comptée au dessus de la couche de forme est :

$$h' = h_1 - h \times \frac{CBR_2 - CBR_1}{CBR_2 + CBR_1}$$

Où :

- h' : épaisseur équivalente en cm comptée à partir du niveau de la couche de forme;
- h_1 : épaisseur équivalente en cm comptée à partir du niveau du sol support;
- h : épaisseur de la couche de forme en cm;
- CBR_1 : CBR de la couche de forme;
- CBR_2 : CBR celui du sol support.

c) Détermination de la roue simple équivalente R.S.E par la méthode de Boyd et Foster

Cette méthode est applicable aux avions équipés d'atterrisseurs dont l'espacement est suffisamment grand pour que chacune de leur action puisse être considérée isolément.

Il est à noter que la R.S.E à un atterrisseur est la roue simple isolée fictive qui produirait la même action maximale que l'atterrisseur à une profondeur donnée dans le massif de Boussinesq considéré.

Soit :

- S ou S_D : la distance séparant les deux roues les plus éloignées de l'atterrisseur comme l'indique les figures 19 et 20 ;
- d : la plus petite distance mesurée à l'intérieure de deux empreintes voisines comme sur les figures 19 et 20.

L'expérience montre que :

☞ chaque roue agit isolément à une profondeur Z inférieure à $d/2$.

Pour $0 \leq Z \leq d/2$ alors $RSE = p$.

☞ à une profondeur Z limitée par $d/2$ et $2S$ ou $2S_D$, la pression au sol est égale à celle résultant d'une roue simple supportant une charge unique comprise entre p et P_{at} .

Nous avons alors pour $d/2 < Z < 2S$ ou $2S_D$:
$$RSE = P_{at} \times \left(\frac{Z}{2S} \right)^a$$

Où :

$$a = \frac{\log r}{\log \frac{4S}{d}}$$

☞ A une profondeur Z supérieure à $2S_D$ ou $2S$ la pression au sol est égale à celle résultant d'une roue simple supportant la charge RSE égale à la totalité de la charge de l'atterrisseur.

Pour $Z > 2S_D$ ou $2S$ alors $RSE = Pat$

Où

- RSE : la roue simple équivalente en kg ;
- r : le nombre de pneumatique sur un atterrisseur ;
- p : charge sur une roue en kg ;
- Pat : charge sur l'atterrisseur en kg ;
- Z : profondeur en cm.

La détermination de la profondeur Z se fait en appliquant la formule de Boussinesq qui s'écrit:

$$\sigma_z = q \times \left(1 - \frac{Z^3}{\sqrt[3]{a^2 + Z^2}} \right) \leq \sigma_{zadm}$$

On tire :

$$Z = \frac{a \times \left(1 - \frac{\sigma_z}{q} \right)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\sigma_z}{q} \right)^{\frac{2}{3}}}}$$

Avec :

- q : la pression de gonflage en Mpa ;
- a : le rayon de la surface de contact de la roue en

cm ;

- σ_z : la contrainte verticale de calcul en MPa.

Pour rendre plus explicite l'évaluation de la RSE, les figures 19 et 20 montrent la variation de cette dernière pour chaque type d'atterrisseur en fonction de la profondeur Z.

IV.5.2/ Méthode optimisée

Si la méthode forfaitaire ne prend en compte qu'un seul type d'avion, le dimensionnement optimisé permet de déterminer une épaisseur de chaussée tout en prenant en compte les différents types d'avion qui fréquentent la piste à leur fréquence et charge respective et pour une durée de vie donnée.

Avec cette méthode on a l'avantage de convertir les mouvements réels de chacune des charges ainsi que les atterrisseurs réels considérés en mouvement équivalent de charge unique de référence. Nous savons d'ailleurs que deux couples (charge et atterrisseur, nombre de mouvement) sont équivalents lorsqu'ils produisent le même effet (chaussée et sol support).

Le détail sur cette méthode est joint en annexe A.

IV.5.3/ Choix de la méthode

L'utilisation de l'une des deux méthodes de dimensionnement de chaussée souple que nous venons d'exposer dépend des données de trafic à la disposition du concepteur.

La méthode optimisée donne des résultats plus fiables du faite qu'elle tient compte de tous les aéronefs qui fréquentent l'aérodrome mais elle exige une donnée bien détaillée des trafics d'avion.

Comme nous ne disposons pas de donnée de trafic fiable pour l'application de la méthode optimisée, on est alors contraint de se fier à la méthode forfaitaire pour le renforcement de la piste et l'extension de l'aérodrome d'ANTALAHA.

Le CBR de la plate forme sera alors pris égale à 10 dans notre calcul.

IV.6/ DETERMINATION DE LA RSE ET DE L'ÉPAISSEUR ÉQUIVALENTE

Puisque nous avons choisi la méthode CBR comme méthode de dimensionnement, il serait très important de connaître les caractéristiques de l'aéronef pris en compte pour les calculs. Suite à cette remarque, avant d'entrer dans les détails, nous allons tout d'abord présenter les hypothèses de calcul et les renseignements qu'il faut connaître concernant le Boeing 737-400.

IV.6.1/ Hypothèses de calcul

Notre étude consiste à l'introduction d'un nouveau type d'aéronef alors nous n'avons pas encore une idée concernant les mouvements journaliers.

On est alors contraint de choisir un nombre de mouvement de Boeing 737 par jour pendant une durée de vie fixée.

Puisque ANTALAHA est une petite ville qui commence à faire ses pas vers l'exploitation de ses différents atouts et que notre chaussée est de structure souple, pour des raisons économique, nous allons prendre pour notre étude le trafic de deux mouvements par jour pendant dix ans de Boeing 737 de série 400.

D'après les données issues du catalogue des avions de l'Aviation Civile de MADAGASCAR (ACM), nous avons les prescriptions suivantes :

✓ Charge totale au décollage	: $P_{\text{total}} = 64.864 \text{ kg}$
✓ Pourcentage de charge sur une jambe de l'atterrisseur principale	: 46,9 %
✓ Pourcentage de charge sur l'atterrisseur au nez	: 6.2 %
✓ Type atterrisseur	: Jumelée
✓ Pression des pneus	: 1,44 MPa
✓ Voie entre jambe des atterrisseurs principales	: $V = 5,25 \text{ m}$
✓ Empattement	: $E = 14,30 \text{ m}$
✓ Voie du train de roue jumelée	: $S = 78 \text{ cm}$

a) Calcul de l'air de contact des roues : A

On a $P_{\text{total}} = 64.864 \text{ kg}$

♥ La charge supportée par l'atterrisseur avant est :

$$P_{\text{av}} = 0,062 * P_{\text{total}}$$

$$P_{\text{av}} = 4.021,57 \text{ kg}$$

♥ La charge supportée par l'atterrisseur principale est :

$$P_{\text{arr}} = 2 * 0,469 * P_{\text{total}}$$

$$P_{\text{arr}} = 60.842,43 \text{ kg}$$

♥ Charge transmise par une jambe de l'atterrisseur principale :

$$P_{\text{at}} = \frac{P_{\text{arr}}}{2}$$

$$P_{\text{at}} = 30.421,22 \text{ kg}$$

♥ Charge transmise par une roue sachant qu'il s'agit d'un atterrisseur jumelé :

$$p = \frac{P_{\text{at}}}{2}$$

$$p = 15.210,61 \text{ kg}$$

♥ D'où l'aire de contact d'une roue notée A est :

$$A = \frac{p}{q}$$

$$A = 1.056,29 \text{ cm}^2$$

♥ Le rayon de l'aire de contact est alors :

$$a = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$a = 18,33 \text{ cm}$$

IV.6.2/ Calcul de la RSE

A chaque aire considérée correspond une valeur de RSE compte tenue du coefficient de pondération correspondant.

a) Piste principale

On sait déjà que la jambe arrière transmet :

$$P_{\text{at}} = 30.421,22 \text{ kg}$$

La charge réelle pondérée est alors :

$$P' = K * P_{at}$$

Pour une piste principale on a la valeur de $K = 1$.

$$\text{Soit } P' = 30.421,22 \text{ kg}$$

En introduisant la correction en fonction de trafic, on a :

$$P'' = \frac{P'}{CT}$$

Avec $CT = 1,2 - 0,2 \log n$, avec $n = 2$: le nombre de mouvement par jour.

$$CT = 1,2 - 0,2 \log 2$$

$$CT = 1,14$$

$$\text{D'où } P'' = 26.685,28 \text{ kg}$$

Comme nous avons adopté pour notre calcul une valeur de $CBR = 10$ pour notre plate forme, on a alors $\sigma_{Zadm} = 0,036418 \text{ MPa}$.

$$\text{Ce qui donne } Z = 139,67 \text{ cm}$$

Or pour les atterrisseur de type jumelé on a :

$$d = S - 0,26 \sqrt{\frac{p}{q}}$$

Avec $p = 15.210,61 \text{ kg}$: la charge sur une roue et $S = 78 \text{ cm}$.

$$\text{Nous avons } d = 51,58 \text{ cm}$$

Nous avons alors :

$$\frac{d}{2} < Z < 2S$$

$$\text{Donc } RSE = P_{at} \times \left(\frac{Z}{2S} \right)^\alpha$$

Avec $P_{at} = P'' = 26.685,28 \text{ kg}$ et $\alpha = \frac{\log r}{\log \frac{4S}{d}}$ où $r = 2$ nombre de roue sur un atterrisseur.

$$\alpha = 0,384$$

$$\text{D'où } RSE = 25.575,86 \text{ kg}$$

b) Aire de stationnement

En suivant la même procédure que précédemment, nous avons :

$$P_{at} = 30.421,22 \text{ kg}$$

Pour l'aire de stationnement la valeur de $K = 1,2$

$$P' = 36.505,46 \text{ kg}$$

En introduisant le coefficient de trafic pour $n = 2$ mouvement par jour nous avons :

$$CT = 1,14$$

La charge normale de calcul est alors : $P'' = 32.022,33 \text{ kg}$

Avec $CBR = 10$ nous avons $Z = 139,67 \text{ m}$.

$d = 51,28 \text{ cm}$ et $S = 78 \text{ cm}$.

$$\frac{d}{2} < Z < 2S$$

Nous pouvons alors écrire :

$$\alpha = 0,384 \quad RSE = P_{at} \times \left(\frac{Z}{2S} \right)^\alpha$$

D'où **RSE = 30.691,04 kg**

c) Bretelle

En procédant toujours de la même façon que précédemment nous avons :

$$Pat = 30.421,22 \text{ kg}$$

Pour la bretelle : $K = 1$

$$P' = 30.421,22 \text{ kg}$$

$$CT = 1,14$$

$$P'' = 26.685,28 \text{ kg}$$

Pour $CBR = 10$, $Z = 139,67 \text{ cm}$

$S = 78 \text{ cm}$, $d = 51,28 \text{ cm}$

$$\frac{d}{2} < Z < 2S$$

Avec $\alpha = 0,384$

$$\mathbf{RSE = 26.685,28 \text{ kg}}$$

d) accotement

$$Pat = 30.421,22 \text{ kg}$$

Pour l'accotement : $K = 0,7$

$$P' = 21.294,85 \text{ kg}$$

$$CT = 1,14$$

$$P'' = 18.679,69 \text{ kg}$$

$$\text{Pour CBR} = 10, Z = 139,67 \text{ cm}$$

$$S = 78 \text{ cm}, d = 51,28 \text{ cm}$$

$$\frac{d}{2} < Z < 2S$$

$$\text{Avec } \alpha = 0,384$$

$$\text{RSE} = 17.903,10 \text{ kg}$$

IV.6.3/ Epaisseur équivalente nécessaire

Rappelons que nous avons adopté comme CBR de calcul égal à 10 et que pour le B737-400 la pression de gonflage des pneus est $q = 1,44 \text{ MPa}$

$$\text{Nous avons alors le rapport : } \frac{\text{CBR}}{q} < 20$$

L'épaisseur équivalente nécessaire pour notre chaussée afin de permettre l'atterrissage d'un B737-400 est alors déterminée par la formule simplifiée qui s'écrit :

$$h = \sqrt{P \times \left(\frac{1}{0,57 \times \text{CBR}} - \frac{1}{32q} \right)}$$

L'épaisseur équivalente de renforcement noté « h_{renf} » est alors calculée par la différence qui s'écrit :

$$h_{\text{renf}} = h_{\text{néc}} - h_{\text{ext}}$$

Où h_{ext} : l'épaisseur équivalente de la chaussée existante.

L'épaisseur réelle de renforcement de la chaussée est ensuite calculée à partir des coefficients d'équivalence des matériaux utilisés pour le renforcement.

a) Piste principale

$$\text{CBR} = 10, q = 1.44 \text{ MPa}$$

$$\frac{\text{CBR}}{q} = 6,94 < 20$$

$$RSE = 25575,86 \text{ kg}$$

$$\text{Posons } M = \sqrt{\frac{1}{0,57 \text{ CBR}} - \frac{1}{32 q}} = 0,392093$$

L'épaisseur équivalente nécessaire s'écrit alors :

$$h_{\text{néc}} = M \sqrt{RSE}$$

$$\text{D'où } h_{\text{néc}} = 62,71 \text{ cm}$$

$$\text{Soit } h_{\text{néc}} = \mathbf{63 \text{ cm}}$$

b) Bretelle

Avec la bretelle on a les mêmes conditions que la piste :

$$RSE = 25575,86 \text{ kg}$$

$$h_{\text{néc}} = \mathbf{63 \text{ cm}}$$

c) Aire de stationnement

En procédant de la même façon avec les mêmes conditions que précédemment nous avons :

$$RSE = 30691,035 \text{ k}$$

$$h_{\text{néc}} = 68,69 \text{ cm}$$

$$\text{Soit } h_{\text{néc}} = \mathbf{69 \text{ cm}}$$

d) Accotement

$$RSE = 17903,10 \text{ kg}$$

$$h_{\text{néc}} = 52,46 \text{ cm}$$

$$\text{Soit } h_{\text{néc}} = \mathbf{52 \text{ cm}}$$

IV.6.4/Epaisseur équivalente de renforcement

a) Zone homogène

Dans le chapitre II nous avons évalué la qualité de la chaussée aéronautique d'ANTSIRABATO. Cette étude nous a révélé les qualités structurelles et fonctionnelles de la piste de l'aérodrome. Les caractéristiques structurelles et les caractéristiques fonctionnelles ne sont pourtant pas indépendantes car l'état de surface peut donner des indications sur les déficiences éventuelles de la structure. Réciproquement une structure inadaptée aux trafics conduit à la dégradation de surface.

Puisque nous disposons seulement d'une aperçue générale de l'état actuelle de la couche de roulement, pour définir notre zone homogène nous allons mettre en relation les résultats des mesures de déflexion et les sondages sous chaussées.

Avec cette approche nous avons divisé la piste principale en 3 zones homogènes:

- ✓ **Zone 1** : limitée par le PKO+000 jusqu'au PKO+500 où nous remarquons de faibles épaisseurs de chaussées et des valeurs de déflexions élevées.
- ✓ **Zone 2** : limitée par le PKO +500 jusqu'au PK1+40.

Dans cette partie les résultats des sondages révèlent des épaisseurs équivalentes de chaussées plus grandes que pour la zone 1. Ce qui met en évidence des plus faibles valeurs de déflexion.

- ✓ **Zone 3** : du PK1+40 au PK fin.

Dans cette zone les valeurs de déflexion sont de même gravités que celles dans la zone 1. Nous allons alors la traiter de la même façon que la partie limitée par la zone 1.

Avec les résultats de sondage à notre disposition nous allons adopter les coupes représentées par les figures ci après :

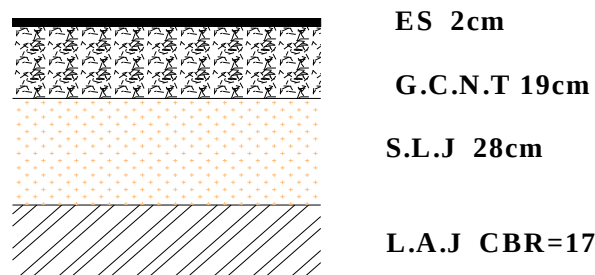


Figure 25 : Coupe type dans la zone 1 [du PK0+000 au PK0+500]

Et dans la zone 3 [du PK1+40 au PK1+193].

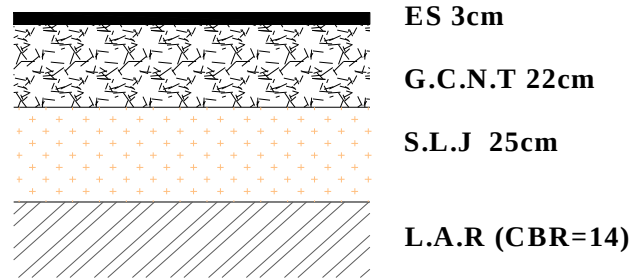


Figure 26 : Coupe type dans la zone 2 [PK0+500 au PK1+500].

En plus de ces zones il y a encore la bretelle et l'aire de stationnement dont les coupes de sondage correspondantes sont les suivantes :

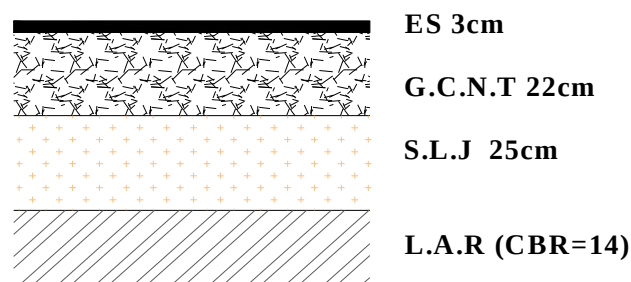


Figure 27 : Coupe type de la structure de la bretelle.

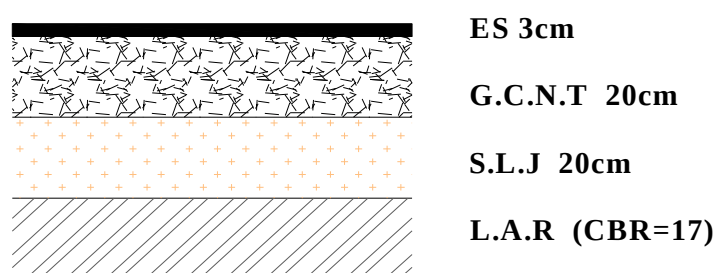


Figure 28 : Coupe type de la structure de l'aire de stationnement.

b) Epaisseur équivalente de la chaussée existante

Le tableau ci après nous donne l'épaisseur équivalente de la chaussée existante en affectant à chaque couche leur coefficient d'équivalence respective. Nous avons pris $a_3 = 0.63$ pour le sable limoneux jaune.

TABLEAU N°46 : Epaisseur équivalente en (cm) de la chaussée existante.

MATERIAUX	Zone 1et Zone 3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement
ES	2	2	3	3
GCNT 0/31 ⁵	18	21	22	20
S.L.J	17,6	17,6	15,8	12,6
h_{eq}	37,6	40,6	40,8	35,6

Source : Etude personnelle.

IV.6.5/ Epaisseur nécessaire de renforcement

a) Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire de renforcement h_{renf}

Nous avons la formule : $h_{renf} = h_{nec} - h_{ext}$

Le tableau ci après nous donne les résultats des calculs :

TABLEAU N°47 : Epaisseur équivalente de renforcement en (cm).

Epaisseurs équivalentes	Zone 1 et zone 3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement
h _{nec}	63	63	63	69
h _{ext}	37,6	40,6	40,8	35,6
h_{renf}	25,4	22,4	22,2	33,4

Source : Etude personnelle.

✓ L'accotement

Pour une piste d'aérodrome l'accotement est construit de façon à pouvoir supporter le poids d'un avion qui sortirait de la piste sans que cet avion subisse des dommages structurels et à supporter le poids des véhicules terrestres qui pourraient y circuler. L'analyse du profil en travers type de la chaussée existante révèle que la couche de fondation s'étend à l'accotement jusqu'à la surface. Cette remarque justifie l'épaisseur de l'accotement sur le tableau suivant, sachant que l'épaisseur équivalente nécessaire pour cette partie de l'aérodrome est :

$$h_{nec} = 52 \text{ cm.}$$

TABLEAU N°48 : Epaisseur de l'accotement en (cm).

Epaisseur	Zone 1 et Zone 3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement
e_{rel}	48	51	50	43
h_{ext}	30,2	32,1	31,5	27,1
h_{renf}	21,8	19,9	20,5	24,9

Source : Etude personnelle.

c) Structure de renforcement et nouvelle structure proposée

Pour ne pas détruire la couche d'enduit superficielle existante, le renforcement sera fait par apport de grave bitume revêtu de béton bitumineux dont l'épaisseur varie de 7 à 8 cm.

Les tableaux ci après nous montrent les structures proposées pour les différentes zones.

TABLEAU N°49 : Structure de renforcement proposée.

Matériaux	Zone 1 et Zone 3		Zone 2		Bretelle		Aire de stationnement	
	e_{rel}	h_{eq}	e_{rel}	h_{eq}	e_{rel}	h_{eq}	e_{rel}	h_{eq}
B.B (cm)	7	14	7	14	7	14	8	16
G.B (cm)	12	18	10	15	10	15	14	21
Totale (cm)	19	32	17	29	17	29	22	37

Source : Etude personnelle.

A partir de ces résultats nous avons alors les nouvelles structures représentées dans le tableau suivant :

TABLEAU N°50 : Structure obtenue après renforcement.

Matériaux	Zone 1 et Zone 3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement
B.B	7	7	7	8
GB	12	10	10	14
ES	2	2	3	3
GCNT	18	21	22	20
CF	28	28	25	20

Source : Etude personnelle.

L'accotement sera renforcé par apport de matériaux de couche de fondation de façon à atteindre l'épaisseur équivalente de renforcement.

IV.6.6/ Etude de structure de rallongement

Comme nous l'avons déjà mentionné, la zone d'extension est constituée par un sol végétal marécageux. Cette situation fait que la mise en œuvre de la plateforme dans cette zone demande une attention particulière.

L'existence d'un sol compressible en dessous d'un remblai représente un danger sur la stabilité de cette dernière par risque de tassement et de poinçonnement du mauvais sol.

Il existe plusieurs solutions pour remédier au problème de sol compressible dont on peut citer :

- ☞ la substitution partielle ou totale ;
- ☞ la mise en œuvre d'une couche drainante et anti-contaminante avant la couche de remblai ;
- ☞ la mise en œuvre d'une tranchée drainante le long du remblai ou des puits de sable qui auront pour effet secondaire d'augmenter la portance du mauvais sol ;
- ☞ l'utilisation d'un géotextile de caractéristique gamme rock ayant une fonction de renforcement en absorbant les efforts de traction que le sol ne peut reprendre et augmentant ainsi la résistance globale du massif ainsi renforcé ;
- ☞ la stabilisation du remblai par chargement jusqu'à la fin du tassement du sol sous jacent.

L'utilisation de l'une de ces solutions dépend de plusieurs facteurs qu'il faut étudier judicieusement.

Il faut tout d'abord connaître les caractéristiques du mauvais sol :

- ☞ ses caractéristiques physiques ;
- ☞ ses caractéristiques de portance ;
- ☞ sa profondeur.

La connaissance de ces paramètres donne déjà une idée sur la solution convenable. Le coût de chacune des solutions et la possibilité de mise en œuvre restent les paramètres décisifs sur le choix d'une solution à adopter.

Puisque nous ne disposons pas des caractéristiques et la localisation exacte du marais, nous n'avons donc pas la possibilité de décider de la précaution la plus convenable à prendre. L'utilisation du géotextile reste cependant la solution la plus adaptée au remblai sur sol mou tout en préservant l'équilibre écologique du milieu environnant. Mais on peut aussi adopter la substitution dans le cas où il n'est pas trop épais.

Dans notre cas, les Travaux de désherbage suffisent pour enlever la mauvaise couche. Mais son épaisseur reste à vérifier lors de l'exécution du remblai.

IV.6.7/ Structure de rallongement proposée

Toutes les précautions relatives à la stabilité et la non contamination du remblai de la plateforme étant prise, nous pouvons alors proposer la structure ci après :

TABLEAU N°51 : Structure de la nouvelle chaussée.

Matériaux	Epaisseur réelle	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente
EDC	8	2	16
GCNT 0/31 ⁵	35	1	35
Couche de fondation en sol de gîte	25	0,63	15,8
Total	68	-	66,8

Source : Etude personnelle.

Nous venons d'effectuer les différentes études nécessaires pour justifier les travaux qu'il faut réaliser sur les aires aéronautiques de l'aérodrome d'ANTALAHA. Il est à noter que ces études ne se limitent pas seulement à des propositions d'aménagement mais il est aussi indispensable de procéder à des vérifications des contraintes pour éviter des mauvaises surprises sur le comportement des matériaux.

Comme la longueur de la piste actuelle n'est pas suffisante pour permettre l'atterrissage du Boeing 737-400, on est alors amené à faire un dimensionnement d'une nouvelle longueur de piste.

Ses deux points importants nous mènent à un nouveau chapitre de cette deuxième partie.

Chapitre V : VERIFICATION DE CONTRAINTE

V.1/ INTRODUCTION

Maintenant que nous avons une structure pour chaque zone homogène, il reste à savoir si notre structure supporte bien les contraintes engendrées par les charges. Ce doute nous mène à procéder à la vérification de contrainte développée au niveau de chaque couche et à leur interface. Pour la détermination de ces contraintes, les deux ingénieurs du corps of engineers American ont établi une méthode de calcul.

V.1.1/ Methode de Jones et Peates

La méthode de Jones et Peates considère un système tri couche élastique et assimile le revêtement à une couche élastique et non à une plaque. Cette méthode fournit les contraintes maximales de compression ou de traction au niveau des couches et des interfaces de chaque couche de la chaussée.

Les contraintes ainsi obtenues sont comparées avec celles obtenues en laboratoire définissant soit des résistances à la compression, soit la résistance à la traction des matériaux constituant la chaussée.

a) Hypothèse de base

- ✓ L'épaisseur et le module d'élasticité des différentes couches entrant dans le constituant du corps de la chaussée sont préalablement choisis ;
- ✓ Toutes les couches, y compris celle de la plate forme, sont supposées parfaitement élastiques. La lois de Hooke est alors vérifiée ;
- ✓ Les contacts aux interfaces sont rigoureux ;
- ✓ Le poids des couches constituant la chaussée est supposé nul ;
- ✓ La pression « q » du pneu est supposée répartie sur une aire de contact circulaire de rayon « a ».

$$A = \pi a^2$$

Où A : l'aire de la surface de contact considérée circulaire.

a : le rayon de la surface circulaire.

b) Description de la méthode

Tout modèle multicouche est toujours ramené à un modèle tri couche par la relation :

$$h = e_s + 0,9 \times e_i \left(\frac{E_i}{E_s} (1 - \mu_i^2) \times (1 - \mu_s^2) \right)^{\frac{1}{3}}$$

Où

E_s, E_i : respectivement le module d'élasticité de la couche supérieure et inférieure ;

e_s, e_i : respectivement l'épaisseur de la couche supérieure et inférieure ;

μ_s, μ_i : respectivement le coefficient de Poisson de la couche supérieure et inférieure.

En prenant $\mu_s = \mu_i = \mu = 0,5$ on peut appliquer la formule simplifiée qui s'écrit :

$$h = e_s + 0,9 \times e_i \left(\frac{E_i}{E_s} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Les contraintes tangentielles σ_t et les contraintes normales σ_z sont déterminées dans le but de vérifier si la chaussée proposée supporte la charge imposée par l'avion de calcul.

Il faut alors vérifier la relation : $\sigma_z \leq \sigma_{zadm}$ et $\sigma_t \leq \sigma_{tadm}$.

Comme notre chaussée a été calculée avec la contrainte $\sigma_z = \sigma_{zadm}$, la première inéquation est alors toujours vérifiée, il ne reste plus qu'à vérifier la deuxième inéquation.

c) Les paramètres de calcul

Le modèle tri couche est modélisé de la façon suivant :

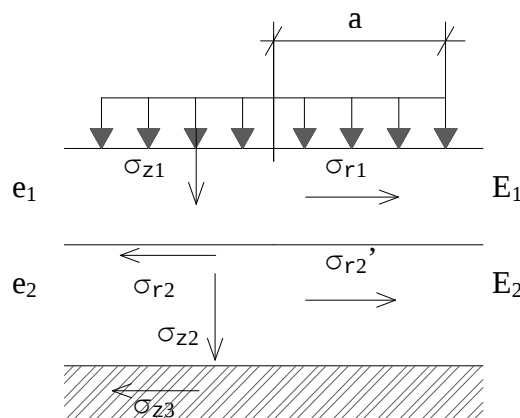


Figure25 : Modélisation de la structure de la chaussée.

Il faut calculer les paramètres suivants :

$$K_1 = \frac{E_1}{E_2} \quad ; \quad K_2 = \frac{E_2}{E_3} \quad ; \quad A_1 = \frac{a}{e_2} \quad ; \quad H = \frac{e_1}{e_2}$$

E_1, E_2, E_3 : respectivement le module d'élasticité de la couche de revêtement, de la couche intermédiaire et celle de la plate forme ;

e_1, e_2 : respectivement l'épaisseur de la couche de revêtement et celle de la couche intermédiaire.

σ_{r1} : la contrainte de traction à la base du revêtement ;

σ_{z1} : la contrainte verticale de compression au niveau supérieure de la couche intermédiaire ;

$\sigma_{r2'}$: la contrainte de traction à la base de la couche intermédiaire ;

σ_{r2} : la contrainte radiale au niveau supérieure de la couche intermédiaire ;

σ_{z2} : la contrainte verticale de compression au niveau supérieur de la plate forme ;

σ_{r3} : la contrainte radiale au niveau supérieure de la plate forme.

Les détails de calculs sont rapportés à l'Annexe.

c) Récapitulation des résultats de calcul de contrainte

TABLEAU N°52 : Résultats de calcul de contrainte en (MPa).

Les contraintes	Zone1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement	Extension
σ_{z1}	1,189	1,189	1,189	1,156	1,085
σ_{r1}	-0,367	-0,369	-0,367	-0,447	-0,909
σ_{r2}	0,825	0,828	0,825	0,726	0,689
σ_{z2}	0,119	0,117	0,120	0,115	0,102
$\sigma_{r2'}$	-0,475	-0,471	-0,476	-0,476	-0,317
σ_{r3}	0,018	0,017	0,018	0,017	0,010

Source : Etude personnelle.

d) Interprétation des résultats

Pour une structure de chaussée la couche de revêtement est la couche la plus sollicitée en traction. Nous allons alors baser notre vérification à la contrainte de traction développée à la base de la couche de revêtement en prenant comme valeur admissible $\sigma_{r1adm} = 25 \text{ Bars}$.

Nous avons alors les résultats suivants :

Pour la **Zone 1 et Zone 3** : $\sigma_{r1} = 11,89 \text{ Bars}$

Pour la **Zone 2** : $\sigma_{r1} = 11,89 \text{ Bars}$

Pour la **bretelle** : $\sigma_{r1} = 11,89 \text{ Bars}$

Pour l'**aire de stationnement** : $\sigma_{r1} = 11,56 \text{ Bars}$

Pour la **chaussée d'extension** : $\sigma_{r1} = 10,85 \text{ Bars}$

Les résultats montrent que toutes les contraintes de traction sont inférieures à la contrainte admissible qui vaut **25 Bars**. Alors on peut adopter les structures proposées pour le renforcement et le rallongement de l'aérodrome d'ANTALAHA.

V.1.2/ Méthode ACN-PCN**a) Introduction**

L'exploitation en toute sécurité d'une chaussée aéronautique par l'introduction d'un nouveau type d'aéronef exige la vérification de certains paramètres sur lesquels repose la condition de fonctionnement de la structure.

La force portante d'une chaussée d'aérodrome destinée à des aéronefs dont la masse sur l'aire de trafic est supérieure à 5700 kg doit être déterminée au moyen de la méthode ACN-PCN.

Cette méthode ne vise qu'à la diffusion des données sur la résistance des chaussées dans les publications d'information aéronautiques.

b) Définition des termes

ACN : Aircraft Classification Number

Ce nombre exprime l'effet relatif d'un avion à une masse donnée sur une chaussée pour une catégorie type spécifiée du sol support.

PCN : Pavement Classification Number

Il exprime la portance d'une chaussée pour une exploitation sans restriction.

c) Justification de l'utilisation de la méthode ACN-PCN

La classification par la méthode ACN-PCN permet de prendre la décision à la faveur ou contre l'exploitation d'un aérodrome de PCN connu, par l'utilisation d'un avion dont l'ACN est préalablement déterminé.

En effet le règlement de la méthode ACN- PCN indique qu'un avion dont l'ACN est inférieur au PCN de l'aérodrome qu'il fréquente peut utiliser celui-ci sans restriction si la pression de gonflage de ses pneus n'excède pas la pression maximale admissible publiée pour la chaussée.

La détermination de ces deux nombres se fait par deux méthodes :

☞ **La méthode approchée :**

Cette méthode utilise une formule simple ne faisant pas intervenir le trafic mais ne peut être appliquée que dans le cas d'une chaussée souple.

☞ **La méthode optimisée :**

Cette méthode de calcul est spécialement utilisée pour les chaussées rigides. Elle fait intervenir le module de réaction K de la chaussée ainsi que le trafic.

Cette dernière méthode ne nous convient pas vu que notre chaussée est de structure souple.

d) Application de la méthode approchée pour le calcul de PCN

Deux méthodes peuvent être appliquées pour la détermination de PCN d'une chaussée si son épaisseur équivalente h_{eq} et le CBR de son sol support sont connus.

☞ Soit directement par l'utilisation de la formule CBR où le PCN est égale au $1/500^e$ de la charge de la roue simple à une pression de gonflage de 1,25MPa que la chaussée est capable de supporter :

$$PCN = \frac{1}{500 K} \left(\frac{h_{eq}^2}{\frac{1}{0,57CBR} - 0,025} \right)$$

Où h_{eq} : l'épaisseur équivalente de la chaussée.

CBR : la portance du sol support.

K : Le coefficient de pondération selon la fonction de l'aire.

☞ Soit par la lecture d'une abaque A à l'annexe.

e) Catégorie de résistance du terrain de fondation

Dans les tableaux ci après nous avons la lettre de code caractérisant les catégories de résistance du terrain de fondation.

☞ Type de chaussée**TABLEAU N°53** : Lettre de code suivant le type de chaussée.

Type de chaussée	Lettre de code
Chaussée souple	F
Chaussée rigide	R

Source : S.T.B.A volume 1

☞ Catégorie du sol support**TABLEAU N°54** : Catégorie du sol support.

Catégorie du sol support	Lettre de code
Résistance élevée $\text{CBR} \geq 13$ ou $K \geq 120$	A
Résistance moyenne $8 \leq \text{CBR} < 13$ ou $60 \leq K < 120$	B
Résistance faible $4 \leq \text{CBR} < 8$ ou $25 \leq K < 60$	C
Résistance ultra faible $\text{CBR} < 4$ ou $K < 25$	D

Source : S.T.B.A volume 1

Note : K est le module de réaction du sol support en MN/m^3

☞ **Catégorie de pression maximale admissible des pneus**

TABLERAU N°55 : Catégorie de pression maximale admissible des pneus.

Valeur de pression : q (MPa)	Lettre de code
Supérieure à 1,50 (Elevée)	W
1,50 (Moyenne)	X
1,00 (Faible)	Y
0,50 (Très faible)	Z

Source : S.T.B.A volume 1

☞ **Méthode d'évaluation**

TABLERAU N°56 : Evaluation technique.

Intervention	Lettre de code
Etude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisation de technique d'étude du comportement des chaussées.	T
Par l'expérience acquise sur les avions : connaissance du type et de la masse spécifique des avions utilisés régulièrement et que la chaussée supporte de façon satisfaisante.	U

Source : S.T.B.A volume 1

f) Calcul de l'ACN par la méthode approchée

Les données de calcul sont :

☞ Le CBR représentatif de l'une des 4 classes du sol support.

Soit CBR=3 ; 6 ; 10 ; 15 ;

☞ Les caractéristiques géométriques de l'atterrisseur et la pression standard de gonflage des pneumatiques de l'avion considéré ;

☞ La masse maximale ou à vide en ordre d'exploitation.

L'épaisseur de chaussée calculée par la méthode du corps of engineers est supposée à coefficient de déflexion nul pour tout point situé à plus de 20 rayons en profondeur ou en distance à l'axe de la roue chargée.

Cette épaisseur est alors corrigée par un coefficient « α » qui dépend du nombre des roues considérées exprimé dans le tableau suivant.

TABLEAU N°57 : Coefficient « α »

Nombre de roues « r » sur l'atterrisseur considéré	Coefficient α
1	1
2	0,9
4	0,825

Source : S.T.B.A volume I.

Avec $h' = \alpha h_{\text{éq}}$

$$\text{RSE} = \frac{h'^2}{\frac{1}{0,5695\text{CBR}} - \frac{1}{32,035q}}$$

D'où $\text{ACN} = \frac{2}{1000} \text{RSE}$

Où $h_{\text{éq}}$: épaisseur équivalente de la chaussée en cm ;

q : la pression de gonflage des pneumatiques en MPa.

RSE : charge sur roue simple équivalente sous une pression de gonflage de 1,25MPa correspondant à l'épaisseur h' en (kg).

L'ACN est corrigé en fonction de la pression de gonflage q comme suit :

$$\text{ACN}_{\text{corrigé}} = \text{ACN} \times \frac{\left(\frac{1}{0,5695\text{CBR}} - \frac{1}{32,035q'} \right)}{\left(\frac{1}{0,5695\text{CBR}} - \frac{1}{32,035q} \right)}$$

Où $q' = 1,25 \text{ MPa}$.

On peut aussi utiliser l'abaque des principaux avions publié par l' O.A.C.I.

V.1.3/ Détermination pratique de ACN-PCN

Les résultats relatifs aux calculs ACN-PCN sont récapitulés dans le tableau N°58
Sachant :

$$\text{CBR}=10 ; q = 1,44\text{MPa} ; r = 2 ; \alpha = 0,9 \text{ (pour boggie).}$$

TABLEAU N°58 : Résultats de calculs ACN/PCN.

Localisation	Zone1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement	Extension
h (cm)	52	52	54	50	51
h' (cm)	46,8	46,8	48,6	54,0	45,9
ACN _{Corrigé}	27,9	27,9	30,0	37,1	26,8
PCN	36	36	39	40	35
PCN publiable	36F/B/X/T	36F/B/X/T	36F/B/X/T	40F/B/X/T	35F/B/X/T

Source : Etude personnelle

De ce tableau il est montré que les valeurs de PCN de chaque aire ou zone considérée sont toutes supérieures à l'ACN.

V.1.3/ Calcul de charge admissible : P_{ta}

Nous avons déjà vérifié que le Boeing 737-400 peut atterrir sur la piste d'ANTSIRABATO après la réalisation des aménagements que nous venons de proposer. Cependant le risque de fatigue accélérée de la chaussée dépend du respect de la charge maximale que celle-ci arrive à supporter. En principe le dépassement de la charge admissible ne se présente que dans des circonstances très rares, mais pour des raisons de sécurité il est sage de le mentionner dans notre étude.

Le calcul de la charge admissible permet d'évaluer la charge maximale de l'avion que la chaussée peut supporter.

La charge maximale P_{ta} d'un avion se calcul à partir du PCN par la formule :

$$P_{ta} = m + (M - m) \times \frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}}$$

Avec

ACN_{max} et ACN_{min} : Respectivement ACN correspondant à M et m lu dans la table des ACN .

M et m : Respectivement la masse maximale et la masse minimale de l'avion considéré.

En lisant le tableau des ACN pour une classe de plate forme de $CBR = 10$ correspondant au B.737-400, nous obtenons les différents paramètres de calcul de la charge admissible P_{ta} comme suit :

$$M = 64.864 \text{ kg} ; m = 33.643 \text{ kg} ; ACN_{max} = 37 ; ACN_{min} = 17$$

Avec la valeur de PCN trouvée pour chaque zone homogène les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU N°59 : Résultats de calcul de charge admissible.

Localisation	Zone1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stationnement	Extension
PCN	36	36	39	40	35
P_{ta} en (Kg)	77 119	77 119	80 528	91 526	75 463
P_a en (kg)	36 169	36 169	37 768	42 926	35 392

Source : Etude personnelle.

Note : P_a : la charge admissible par jambe d'atterrisseur principale.

Ces résultats nous révèlent que les charges admissibles par jambe d'atterrisseur principale pour chaque zone homogène sont toutes supérieures à la charge maximale par jambe du Boeing 737-400. Cette valeur étant égale à 30.421,22 kg.

On en conclue alors que le Boeing 737-400 peut être admis sans restriction de charge ou nombre de mouvement sur la piste d'ANTSIRABATO.

V.2/ DIMENSIONNEMENT DE LONGUEUR DE PISTE

La longueur d'une piste d'un aérodrome doit être suffisante pour permettre le décollage et l'atterrissage des aéronefs sans qu'il y ait risque d'éventuel incident en cas d'une défaillance technique.

Dans la présente étude nous introduisons un nouveau type d'avion plus contraignant que d'habitude alors il serait sage de voir si la longueur de la piste actuelle est suffisante pour l'exploitation de cette dernière.

V.2.1/ Méthode de détermination de la longueur de piste

La longueur réelle de piste est la plus longue des trois longueurs suivantes :

- ☞ Le décollage avec un moteur en panne ;
- ☞ L'atterrissage ;
- ☞ L'accélération – arrêt.

La détermination de ces longueurs exige la connaissance de certains paramètres de performance de l'avion considéré.

Lorsque les données de performance ne sont pas disponibles, la longueur réelle de la piste peut être déterminée en multipliant la longueur de base de l'avion considéré par un coefficient forfaitaire de correction « **N** » qui tient compte de l'altitude, de la température et de la pente de la piste.

$$N = \left(1 + \frac{n_1}{100}\right) \times \left(1 + \frac{n_2}{100}\right) \times \left(1 + \frac{n_3}{100}\right)$$

Où n_1 : coefficient de correction d'altitude ;

n_2 : coefficient de correction de température ;

n_3 : coefficient de correction de pente ;

V.2.2/ Détermination des coefficients de correction

a) Coefficient de correction d'altitude : n_1

La valeur de n_1 est obtenue par la formule :

$$n_1 = \frac{7H + 3h_1}{300}$$

Où h : l'altitude en m au dessus du niveau de la mer du point moyen de l'aérodrome ;
 h_1 : l'excédent positif de h sur 1.200m.

$$\Rightarrow h_1 = h - 1.200 \quad ; \quad \text{si } H > 1.200\text{m}$$

$$\Rightarrow h_1 = 0 \quad ; \quad \text{si } H \leq 1.200\text{m}$$

b) coefficient de correction de température : n_2

On définit T la température de référence de l'aérodrome comme la moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes exprimées en degré Celsius du mois le plus chaud de l'année.

$$n_2 = 0,7 t_1 + 0,3 t_2 + t_3$$

$$\text{Avec } t_1 = T - t$$

Où t : la température en atmosphère type à l'altitude de l'aérodrome. Le gradient thermique en atmosphère type étant égal à $-0,0065^\circ\text{C m}^{-1}$

$$t = 15 - 0,0065 * H$$

t_2 est l'excédent positif de T sur $t + 10$

$$t_2 = T - (t + 10) \quad ; \quad \text{si } T > t + 10$$

$$t_2 = 0 \quad ; \quad \text{si } T \leq t + 10$$

t_3 est l'excédent positif de T sur $t + 20$

$$t_3 = T - (t + 20) \quad ; \quad \text{si } T > t + 20$$

$$t_3 = 0 \quad ; \quad \text{si } T \leq t + 20$$

c) Coefficient de correction de pente : n_3

La valeur de n_3 est obtenue par :

$$n_3 = 7p$$

Où p : la valeur absolue de la pente moyenne de la piste en % calculée en divisant la différence d'altitude entre les 2 extrémités de la piste par sa longueur.

V.2.3/ Calcul de la longueur réelle de la piste pour la réception de B737-400

Comme nous ne disposons pas des paramètres de performance du B737-400 nous allons alors utiliser la méthode de coefficient forfaitaire pour notre calcul.

a) Les données de calcul de n_i

D'après les données météorologiques nous avons les renseignements suivants :

Altitude de l'aérodrome : $H = 6\text{m}$

Température du mois le plus chaud : $T = 26,6^\circ\text{C}$

La pente moyenne de la piste est :

$h_{\text{seuil } 18} = 5,320$; $h_{\text{seuil } 36} = 5,985$; $L = 1193\text{m}$.

$$p = \frac{5,985 - 5,320}{1.193} = 0,00056$$

Soit $p = 0,056\%$

b) Les coefficients de correction

$H < 1.200$ donc $h_1 = 0$

$n_1 = 0,14$

$t = 14,961^\circ\text{C}$

$t_1 = 11,639^\circ\text{C}$

$T > t + 10$ alors $t_2 = 1,639^\circ\text{C}$

$T < t + 20$ alors $t_3 = 0$

$n_2 = 8,639$

$n_3 = 0,392$

$$\left(1 + \frac{0,14}{100}\right) \times \left(1 + \frac{8,639}{100}\right) = 1,088 < 1,35$$

Nous pouvons alors appliquer le coefficient N comme coefficient forfaitaire pour le calcul de la longueur réelle de la piste.

D'où $N = 1,092$

c) La longueur nécessaire : $L_{\text{néc}}$

$L_{\text{néc}} = 2.222 * 1,092 = 2.426,42\text{ m}$

$L_{\text{néc}} = 2.426\text{ m}$

Comme la longueur actuelle de la piste est de 1193m , la longueur d'extension est alors la différence entre la longueur nécessaire et la longueur réelle.

D'où **$L_{\text{extension}} = 1.233\text{ m}$** .

Chapitre VI : ASSAINISSEMENT

VI.1/ GENERALITE

Vue l'importance d'un investissement dans la construction d'une chaussée, l'organisme chargé de l'étude du projet est le premier responsable de la pérennité de l'ouvrage et de la sécurité pendant la durée d'exploitation. Nous savons que le premier ennemi d'une chaussée est l'eau, alors la maîtrise de cet élément qui est très présent dans la nature est d'une importance capitale pour notre aménagement. L'eau de pluie stagnant sur les accotements s'infiltre sous ces dernières et, par ramollissement des fondations et de la plateforme, occasionne de graves désordres au niveau de la couche de revêtement qui peuvent être un grave danger pour les avions utilisant la piste.

VI.2/ ETAT DES LIEUX

L'aménagement de la bande d'envol suivant le règlement de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I) réduit l'effet des eaux de ruissellement sur la chaussée mais on note le manque d'entretien des réseaux d'assainissement de l'aérodrome.

Une nappe phréatique souterraine se forme par accumulation des eaux emprisonnées dans la chaussée. Cette formation de nappe phréatique est causée par le niveau d'accotement plus élevé que celui de la chaussée ce qui perturbe l'écoulement de l'eau de part et d'autre de l'axe de la piste.

VI.3/ PROPOSITION D'AMENAGEMENT

Pour remédier aux problèmes d'eaux de ruissellement nous proposons le curage et la remise en état des réseaux d'assainissement existant. La solution pour les eaux d'infiltration est la mise en œuvre des drains de profondeur plus bas que le niveau de la couche de fondation de la chaussée.

VI.4/ METHODE DE DIMENSIONNEMENT

VI.4.1/ Le débit nécessaire à évacuer

Nous utilisons des drains incomplets. Le débit à évacuer est donc :

$$Q = \frac{H' \times (K \times B)}{H \times R} (H^2 - h_o^2)$$

Avec : $h_o = \frac{I_o}{2 - I_o} \times H$ et $R = \frac{H - h_o}{I_o}$

Où

K : le coefficient de perméabilité du terrain en (m³/j) ;

R : le rayon d'action en (m) ;

H : l'épaisseur de la couche mise en jeu en (m) ;

H' : la profondeur de la couche imperméable ;

I_o : la pente de la courbe de dépression de l'eau qui dépend de la nature du terrain en (%);

Q : le débit du drain en (m³/j).

VI.4.2/ Le tuyau de drainage

Le calcul consiste à déterminer la pente du drain qui éviterait à la fois l'ensablement et l'affouillement du dispositif de drainage en se fixant le diamètre du tuyau. Pour avoir le débit à évacuer par le tuyau, le débit à évacuer est majoré par 1,5.

Soit : $Q_t = 1,5 Q$

Pour faciliter le curage des tuyaux, nous prévoyons un diamètre $\phi_t \geq 15 \text{ cm}$.

Nous vérifierons : $Q_t \geq 1,5 Q$ pour minorer la pente du tuyau I_t .

Soit :

$k \times R_t^{0,5 + y} \times I_t \geq 1,5Q$ (Avec cette équation on tire une première valeur limite de I_t)

Où k : coefficient dépendant de la nature du tuyau ;

$$y = \frac{1,5}{\sqrt{k}} \quad \text{et} \quad R_T = \phi / 4.$$

En supposant que les tuyaux travaillent en pleine section, nous encadrons I_t par la vérification de non affouillement et de non ensablement à partir des vitesses.

On écr
$$V_t = k \times \pi \times \frac{\phi_t^2}{4} \times \left(\frac{\phi_t}{4} \right) \times I_t^{0,5}$$

Notons :

V_{aff} : la vitesse d'affouillement ;

V_{ens} : la vitesse d'ensablement.

On a $V_t \geq V_{\text{ens}}$ et $V_t \leq V_{\text{aff}}$

D'où

$$\left(\frac{V_{\text{ens}}}{k \times \left(\frac{\phi_t}{4} \right)^{0,5+y}} \right)^2 \leq I_t \leq \left(\frac{V_{\text{aff}}}{k \times \left(\frac{\phi_t}{4} \right)^{0,5+y}} \right)^2$$

VI.5/ DIMENSIONNEMENT

VI.5.1/ Calcul du débit nécessaire à évacuer

Nous sommes en présence de terrain sableux, alors la pente de la courbe de dépression sera :

$I_0 = 6\%$ avec un coefficient de perméabilité $K = 50\text{m/j}$.

Puisque nous favorisons l'utilisation du géotextile, il faudra faire en sorte de ne pas l'atteindre. C'est pour cela que nous allons adopter des drains imparfaits dont la couche intéressée est $H = 1,5\text{m}$ avec une longueur de nappe estimée à $B = 200\text{m}$.

Avec ces hypothèses la hauteur minimale de l'eau est $h_0 = 0,046\text{m}$, le rayon d'action est estimé à $R = 24,23\text{m}$ et le débit à recueillir sera alors $Q = 0,014 \text{ m}^3/\text{s}$.

VI.5.2/ Calculs hydrauliques du tuyau de drainage

Le débit à évacuer par le tuyau sera $Q_t = 1,5Q = 0,021\text{m}^3/\text{s}$.

Le tuyau en béton convient à notre condition alors $k = 83$. En fixant le diamètre du tuyau à $\phi_t = 0,25\text{m}$ on arrive aux résultats suivant :

Limites de pente :

$I_t \geq 1,11\text{‰}$ et les vitesses limites $V_{\text{ens}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{s}$, $V_{\text{aff}} = 1,2$ donne une fourchette de pente $1,45\text{‰} \leq I_t \leq 8,83\text{‰}$.

Compte tenu de toutes ces conditions, en se fixant une pente de 2‰ le drain évacue jusqu'à $0,026 \text{ m}^3/\text{s}$, la vitesse d'écoulement est $0,59 \text{ m/s}$ et l'enfoncement au bout de 200m est de $0,40\text{m}$.

Conclusion partielle

D'après les différentes vérifications, les structures que nous avons proposées pour chaque zone de l'aire de mouvement sont suffisantes pour permettre sans crainte l'atterrissage du Boeing 737- 400 sur la piste d'ANTSIRABATO. Le problème de distance nécessaire au décollage est totalement résolu par la construction d'une nouvelle chaussée d'extension long de 1.233 m , ce qui donne une nouvelle longueur de piste de 2.426m . Pour éviter l'attaque de l'eau, la réhabilitation du réseau d'assainissement existant est indispensable et des tuyaux de drainage en profondeur seront aménagés le long des deux côtés de la piste.

Partie III:
Partie III:
ETUDES ECONOMIQUES
ETUDES ECONOMIQUES

Chapitre VII : EVALUATION DU COUT DES TRAVAUX

VII.1/ INTRODUCTION

L'approbation d'un projet par les investisseurs ne se réfère pas seulement à l'efficacité des études techniques et de la possibilité de réalisation mais il reste des critères très importants, voire même capital : le coût et la rentabilité.

L'évaluation du coût d'aménagement et l'étude de sa rentabilité font l'objet de l'étude économique d'un projet que nous allons traiter dans cette partie.

Pour notre projet cette partie de l'ouvrage consiste à définir les différents Travaux relatifs au renforcement et au rallongement de l'aérodrome d'ANTALAHA en vue de recevoir un Boeing 737-400 :c'est le devis descriptif.

Ces premiers résultats nous permettront de fournir aux décideurs politico-économiques concernés de l'Etat, les coûts des différents travaux afin de prévoir l'investissement nécessaire pour la réalisation de notre projet d'aménagement.

L'investissement à prévoir sera constitué par :

- ☞ le coût de renforcement ;
- ☞ le coût de rallongement ou de la nouvelle chaussée ;
- ☞ le coût d'exploitation ;
- ☞ le coût d'entretien.

Tous les Travaux seront quantifiés par l'établissement d'un devis quantitatif afin d'être évalués en FMG ou Ariary dans le bordereau de détail estimatif ou B.D.E.

Après avoir établi le bilan du projet, il reste encore à savoir si ce dernier est rentable ou non. Pour cela, nous allons calculer l'indicateur économique T.R.I dit Taux de Rentabilité Interne qui sera par la suite comparé au taux bancaire évalué à 12% à MADAGASIKARA.

VII.2/ DEVIS DESCRIPTIF

Cette partie de l'étude sera affectée aux :

- ☞ Travaux de renforcement et de rallongement de chaussée aéronautique ;
- ☞ Travaux d'assainissement.

Les détails seront présentés en Annexe C.

VII.3/ DEVIS QUANTITATIF

Il s'agit de la quantification des travaux par déduction de surface ou volume ou poids des matériaux nécessaires en utilisant les caractéristiques géométriques relatifs à la solution adaptée.

Les matériels et les personnels engagés sont présentés dans les sous détails de prix préalablement élaboré.

Les détails seront présentés en Annexe C.

VII.4/ BORDEREAU DETAIL ESTIMATIF

Dans cette partie nous évaluerons le montant de chaque travail tout en utilisant les résultats du devis quantitatif et les prix unitaires des travaux définis dans les sous détails des prix.

Le total des montants de chaque activité constituera alors le prix que l'on annoncera lors de la soumission du projet. Le B.D.E est représenté dans le tableau de la page suivante.

TABLEAU N°60 : B.D.E

N°	Désignations	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant
0 00 - INSTALLATION DE CHANTIER					
0 01	Installation de chantier	Fft	Fft	Fft	1 636 822 116
0 02	Repli de chantier	Fft	Fft	Fft	701 495 193
TOTAL PRIX 000					2 338 317 309
1 00 - RENFORCEMENT ELRGISSEMENT ET RALLONGEMENT					
RENFORCEMENT ET ELARGISSEMENT					
1 01	Point à temps	m ²	759	52 000	39 455 520
1 02	Débroussaillage et désherbage	m ²			
1 03	Enlèvement de matériaux compressibles	m ³		11 300	
1 04	Déblais	m ³	14 134	7 000	98 941 150
1 05	Remblais ordinaires	m ³	39 690	20 800	825 552 000
1 06	Matériaux sélectionnés	m ³	21 919	52 000	1 139 801 650
1 07	GCNT 3/31 ⁵ pour couche de base	m ³	1 245	71 500	88 990 688
1 08	Grave bitume pour renforcement	T	12 466	302 600	3 772 173 775
1 09	Cut-back 0/1 pour imprégnation	T	52,33	3 360 900	175 879 594
1 10	Cut-back 400/600 pour accrochage	T	26	3 740 600	97 874 856
1 11	Béton bitumineux	T	7 762	381 500	2 961 057 553
1 12	Couche anti-kérosène	m ²		114 430	
1 13	Peinture et marquage au sol	kg	5 500	54 668	300 674 000
TOTAL					9 500 400 786
ASSAINISSEMENT					
2 01	Remise en état des ouvrages	Fft	Fft	Fft	95 004 008
2 02	Tranché drainant	ml	2 386	65 000	155 090 000
2 03	Puisards	U	12	600 000	7 200 000
TOTAL					257 294 008
TOTAL RENFORCEMENT ET ELARGISSEMENT:					9 757 694 794
NOUVELLE CHAUSSEE: RALLONGEMENT					
1 01	Point à temps	m ²		52 000	
1 02	Débroussaillage et désherbage	m ²	184 950	1 120	207 144 000
1 03	Enlèvement de matériaux compressibles	m ³			
1 04	Déblais	m ³	1 224	7 000	8 568 000
1 05	Remblais ordinaires	m ³	302 323	20 800	6 288 310 080
1 06	Matériaux sélectionnés	m ³	39 578	52 000	2 058 037 150
1 07	GCNT 3/315 pour couche de base	m ³	13 171	71 500	941 706 391
1 08	Grave bitume pour renforcement	T			
1 09	Cut-back 0/1 pour imprégnation	T	45,16	3 360 900	151 767 321
1 10	Cut-back 400/600 pour accrochage	T	23	3 740 600	84 456 670
1 11	Béton bitumineux	T	7 526	381 500	2 871 216 688
1 12	Couche anti-kérosène	m ²	7 400	114 430	846 782 000
1 13	Peinture et marquage au sol	kg		54 668	
TOTAL					13 457 988 299

<u>ASSAINISSEMENT</u>					
2 02	<u>Tranché drainant</u>	ml	2 466	65 000	160 290 000
2 03	<u>Puisards</u>	U	12	600 000	7 200 000
<u>TOTAL</u>					167 490 000
<u>TOTAL RALLONGEMENT</u>					13 625 478 299
<u>TOTAL PRIX 1 00</u>					23 383 173 093
<u>COUT TOTAL DES TRAVAUX</u>					25 721 490 402
<u>TVA 20%</u>					5 144 298 080
<u>COUT TOTAL T.T.C</u>					30 865 788 482

Arrêté le montant des travaux à la somme de «*Vingt cinq milliard sept cent vingt et un millions quatre cents quatre vingt dix mille quatre cents deux Francs Malagasy*» (25 721 490 402 Fmg). En introduisant le T.V.A : «*Trente milliards huit cents soixante cinq millions sept cents quatre vingt huit mille quatre cents quatre vingt deux Francs Malagasy* » (30 865 788 482 Fmg).

Soit «*Six milliards cent soixante treize millions cents cinquante sept mille six cents quatre vingt seize Ariary* » (Ar 6 173 157 696)

Chapitre VIII : ETUDE DE RENTABILITE ECONOMIQUE

Après avoir établi le bilan du projet, il reste encore à savoir si ce dernier est rentable ou non. Pour cela, nous allons calculer l'indicateur économique T.R.I dit Taux de Rentabilité Interne qui sera par la suite comparé au taux bancaire évalué à 12% à MADAGASIKARA.

VIII.1/ VALEUR ACTUELLE NETTE (V.A.N)

La V.A.N. est déterminée par la formule :

$$VAN = \sum_{i=1}^n (\text{Recettes nettes actualisées}) - \text{investissement}$$

Où n : période d'exploitation.

Il est à noter que dans un investissement si :

- ☞ $V.A.N > 0$ le projet est rentable ;
- ☞ $V.A.N < 0$ le projet n'est pas rentable.

VIII.2/ INDICE DE RENTABILITE

L'indice de profitabilité permet de rapprocher le coût de l'investissement des cash-flows qui l'engendrent.

On l'obtient en appliquant la formule :

$$RI = \frac{\sum_{i=0}^n RA}{\sum_{i=0}^n DA}$$

Où RA : recette annuelle ;

DA : dépense actuelle.

C'est une méthode complémentaire de celle de la V.A.N. Elle est généralement utilisée pour faire le choix entre deux projets pour lesquels les V.A.N sont quasiment identiques.

VIII.3/ TAUX DE RENTABILITE INTERNE (T.R.I)

Le T.R.I d'un projet d'investissement est le taux pour lequel la dépense de l'investissement est égale au total des cash-flows engendrés par l'investissement actualisés au même taux.

C'est le taux qui annule la V.A.N.

☞ Méthode de calcul du T.R.I

On se donne deux taux notés i_1 et i_2 puis on calcul la V.A.N telle que :

$$✓ \quad V.A.N(i_1) > 0 ;$$

$$✓ \quad V.A.N(i_2) < 0.$$

On procède ensuite à une interpolation linéaire pour trouver la valeur du T.R.I telle que :

$$V.A.N(i) = V.A.N(T.R.I) = 0$$

Le T.R.I trouvé est ensuite comparé avec le taux d'intérêt bancaire qui est estimé 12% à MADAGASIKARA afin de vérifier :

- ✓ Si $T.R.I > 12\% \rightarrow$ le projet est rentable ;
- ✓ Si $T.R.I < 12\% \rightarrow$ le projet est non rentable ;
- ✓ Si $T.R.I = 12\% \rightarrow$ le projet n'est pas intéressant.

VIII.4/ CALCUL PRATIQUE

Pour calculer la rentabilité économique d'un projet on suit les étapes décrites ci-dessous :

- ☞ Déterminer le coût total. Pour notre cas le coût se répartit en une seule année ($n=0$) et est estimé à : 30 865 788 482 Fmg ;
- ☞ Détermination des recettes ou du chiffre d'affaire engendré par le projet (représentée en Annexe B) ;
- ☞ Détermination du cash-flow Brut (C.F.B) tel que :

$$C.F.B = \text{Recette total} + \text{coût total} \quad ;$$
- ☞ Détermination du cash- flow cumulé (C.F.C) :

$$C.F.C_i = C.F.B_i + C.F.C_{i-1} \quad ;$$
- ☞ Le cash flow annuel actualisé (CFAA) est ensuite déterminé par :

$$C.F.A.A = C.F.B (1+t)^{-n}$$

Où t : taux d'intérêt ;

N : année ;

☞ La somme de C.F.A.A donne le cash flow actualisé cumulé (C.F.A.C) qui n'est autre que la V.A.N ;

☞ Pour avoir le taux recherché il faut faire en sorte que:

$$\text{Signe de } [C.F.A.C(t_1)] = \sum C.F.B (1+t_1)^{-n} \# \text{ Signe de } [C.F.A.C(t_2)] = \sum C.F.B (1+t_2)^{-n}.$$

On fait ensuite une interpolation entre C.F.A.C(t_1) et C.F.A.C(t_2) pour avoir C.F.A.C (t).

Les résultats de calculs relatifs à ces indicateurs sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

TABLEAU N°61 : Calcul des indicateurs économiques en Fmg.

Année	Coût 10 ⁶	C.A 10 ⁶	CFB 10 ⁶	CFBC 10 ⁶	CFA 10% 10 ⁶	VAN 10% 10 ⁶	CFA 15% 10 ⁶	VAN 15% 10 ⁶
0	-30866	0	- 30 866	- 30 866	- 30 866			
1		15 325	15 325	- 15 540	13 932	- 16 934	13 326	- 44 192
2		15 862	15 862	321	13 109	- 3 825	11 994	- 56 186
3		16 417	16 417	16 738	12 334	8 509	10 794	- 66 980
4	-308,7	16 991	16 683	33 421	11 395	19 904	9 538	- 76 519
5		17 586	17 586	51 007	10 920	30 824	8 743	- 85 262
6		18 202	18 202	69 209	10 274	41 098	7 869	- 93 131
7		18 839	18 839	88 047	9 667	50 765	7 082	- 100 213
8		19 498	19 498	107 545	9 096	59 861	6 374	- 106 587
9	-617,3	20 181	19 563	127 109	8 297	68 158	5 561	- 112 148
10		20 887	20 887	147 995	8 053	76 211	5 163	- 117 311
11		21 618	21 618	169 613	7 577	83 788	4 647	- 121 958
12		22 374	22 374	191 988	7 129	90 917	4 182	- 126 140
13		23 158	23 158	215 145	6 708	97 625	3 764	- 129 904
14		23 968	23 968	239 114	6 312	103 936	3 387	- 133 291
15		24 807	24 807	263 921	5 939	109 875	3 049	- 136 340

Source : Etude personnelle.

Après interpolation, nous avons la valeur du **T.R.I = 12,23**.

Ce résultat nous révèle que le taux de rentabilité interne lié aux Travaux de renforcement et de rallongement de la piste de l'aérodrome d'ANTALAHA est supérieur au taux d'intérêt bancaire dans notre pays. Nous pouvons alors conclure que notre projet d'introduction de Boeing 737 à ANTALAHA est rentable.

CONCLUSION GENERALE

L'introduction du Boeing 737 à ANTALAHA n'est pas un projet nouvel car cette idée est née depuis la fin des années 70. On ne connaît pas exactement la raison qui empêche sa réalisation mais on est convaincu que ce projet peut avoir une grande influence sur le développement de cette région.

Certes, grand est l'investissement mais avec des fervents dirigeants et une population prête à travailler pour le développement, il pourrait être un pilier de relancement économique car elle favorisera l'entrée des touristes.

Il faudrait axer les efforts vers la création des infrastructures d'accueil et mettre en relief la beauté écotouristique de la région et tous ses alentours tout en préservant ses atouts et sa réputation dans le cadre de l'exportation des produits agricoles, tout particulièrement les produits de rente.

Les calculs économiques donnent un taux de rentabilité interne de 12,23% qui est supérieur au taux d'intérêt bancaire, mais reste à savoir si sa réalisation pourrait intéresser les responsables de l'Etat.

Dans la partie technique nous avons pu élaboré un document contenant les dispositions nécessaires pour le renforcement et le rallongement de l'aérodrome d'ANTSIRABATO :

- ◆ Le renforcement de la chaussée existante éliminera les états de fatigue et lui rendra opérationnel encore pour 15 ans sous réserve d'un entretien régulier ;
- ◆ Le rallongement (ou extension) de la piste d'atterrissage permettra à cet aérodrome de recevoir le Boeing 737.

Après avoir vérifié les contraintes développées au niveau des différentes couches de la structure de la chaussée par la méthode de JONES et PEATES, nous avons des résultats admissibles et le calcul de la nouvelle force portante de la chaussée par la méthode ACN-PCN nous donne une valeur publiable de 35F/B/X/T.

La charge admissible supportée par la chaussée : $P_{ta} = 75\,463\text{kg}$ est supérieur à la charge supportée par le Boeing 737-400.

Alors on peut permettre sans restriction de charge l'atterrissage de notre avion de calcul.

Nous pouvons donc conclure que le projet de renforcement et de rallongement de la piste de l'aérodrome d'ANTALAHA peut être envisagé et devrait être pris en compte parmi les projets d'investissement de l'année à venir. Alors, il ne nous restera plus qu'à démarrer les Travaux.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES.
Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodrome et la détermination des charges admissibles ; Volume 1 ; 1983.
- 2- DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES.
Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodrome et la détermination des charges admissibles ; Volume 2 ; 1983.
- 3- DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES
Instruction sur le dimensionnement des chaussées d'aérodrome et la détermination des charges admissibles ; Volume 3 ; 1983.
- 4- MANUEL DE CONCEPTION DES AERODROMES ; Première partie ; Pistes ; 1984.
- 5- AERODROME ; Annexe 14 ; Volume 1 ; Deuxième édition ; Juillet 1995.
- 6- ANTALAHA AEROPORT ; Rapport d'étude par l'association ANDRY
DEVELEOPPEMENT ANTALAHA ;
- 7- REVUE GENERALE DES ROUTES ET AERODROMES ; Edition N°597.
- 8- RENFORCEMENT DE LA PISTE ET EXTENSION DU PARKING DE
L'AERODROME DE NOSY-BE POUR RECEVOIR UN BOEING 767-300 ;
Mémoire de fin d'étude présenté par RABENANDRASANA Rijamaharo José
Tranquelin (Promotion 2002).
- 9- Dossier L.N.T.P.B ; Etude de plate forme – Recherche de matériaux –
Dimensionnement de la piste d'envol de l'aérodrome d'ANTALAHA pour Boeing
737 ; 13 Octobre 1978.
- 10- ANDRIANIAINA Jean Germain ; Cours d'aérodrome ; 2003-2004 ; BTP-5 ESPA.
- 11- RAKOTOARISON Pierre Donat ; Cours chaussée rigide ; 2003-2004 ; BTP-5 ESPA.
- 12- RANDRIAHERINDRAINNY Selmer ; Cours Management d'entreprise ; 2003-2004 ;
BTP-5 ESPA.
- 13- RALAIARISON Moïse ; Cours de route ; 2001-2002 ; BTP-3 ESPA.
- 14- RALAIARISON Moïse ; Cours de route ; 2002-2003 ; BTP-4 ESPA.
- 15- RALAIARISON Moïse ; Cours de Management de construction; 2003-2004 ; BTP-5
- 16- RATSIMBAZAFY Andrinirina ; Cours de route ; 2001-2002 ; BTP-3 ESPA.
- 17- RABENATOANDRO Martin; Cours d'hydraulique routière; 2002-2003; BTP4 ESPA.

ANNEXE A:
**ANNEXE A:
CONCEPTION DES CHAUSSEES D'AERODROME**

ANNEXE A

I./ LES SERVITUDES AERONOTIQUES

I.1/DEFINITION

Les servitudes aéronautiques sont des indications ou recommandations qui ont pour but de spécifier une aire bien déterminée dans laquelle les obstacles sont à limiter de manière à ce que la circulation des avions se fasse en toute sécurité.

I.2/ SURFACE DE LIMITATION D'OBSTACLE

Puisque nous avons déjà abordé cette question dans la partie I au paragraphe I.3/, dans cette partie de l'annexe nous allons seulement abordé la partie incomplète.

I.2.1/ LA TROUEE

Une trouée est un couloir rectiligne qui prolonge la bande d'atterrissage et qui permet aux aéronefs d'accéder et de sortir de l'aérodrome. On distingue la trouée de décollage et la trouée d'atterrissage.

I.2.2/ FOND DE TROUEE

Pour une piste à vue, le fond de trouée est constitué par une portion de plan perpendiculaire au plan axial de la bande, de pente ascendante notée « $\text{tg}\alpha$ », passant par le petit côté de la bande.

Il est limité en bas par le petit côté de la bande et en haut par la droite horizontale de côté H compté au dessus du niveau moyen de l'aérodrome. Ses limites latérales sont les deux droites symétriques par rapport au plan axial de la bande. Ces deux droites sont les droites de fond de trouée et leur projection horizontale fait avec l'axe de la bande un angle γ tel que $\text{tg}\gamma=15\%$.

Pour une piste aux instruments, le fond de trouée est constitué par :

- une portion de plan incliné perpendiculaire au plan axial de la bande, de pente ascendante tgy passant par le petit côté de la bande limitée vers le bas par ce petit côté et vers le haut par le plan horizontal défini ci après :

Une portion de plan horizontal faisant suite au plan incliné dont la cote est la plus élevée des 3 côtés suivants :

- 150m au dessus de la côte de l'extrémité de la bande ;
- 50m au dessus du point le plus élevé du sol naturel situé dans l'aire de dégagement de la trouée, si celle-ci ne correspond pas à l'agglomération ;
- 100m au dessus du point le plus élevé du sol naturel situé en agglomération s'il en existe dans l'aire de dégagement.

En général le fond de trouée est limité latéralement par les droites de fond de trouée définies dans le cas de piste à vue.

I.2.3/ REGLES DE DEGAGEMENT

a) Les obstacles

Les obstacles sont répartis en quatre catégories :

- ☞ Les obstacles massifs (colline, accident de terrain, construction de grande surface, ...)
- ☞ Les obstacles minces (Pylône, cheminée, ...)
- ☞ Les obstacles filiformes (lignes électriques ou téléphoniques, câble, ...)
- ☞ Les obstacles mobiles (voitures, camions, trains, bateaux,...).

b) Les obstacles à supprimer

- ☞ La sécurité pendant la circulation des aéronefs exige qu'aucun obstacle massif ne doit dépasser la surface limite constituée par les surfaces de dégagement ;
- ☞ Par mauvaise visibilité, il est recommandé de dégager tout obstacle en dehors des dispositifs de balisage jusqu'au niveau du sol, la surface limitée par les extrémités de la bande et limitée latéralement par les projections verticales sur le terrain des droites de fond de trouée ;

- ☞ Les obstacles minces qui sont les plus dangereux et difficiles à distinguer sont traités de la même façon que les obstacles massifs. La surface limite à prendre en considération à leur égard se trouve à 10 m en dessous de celle des obstacles massifs.

c) **Les obstacles à baliser**

La nécessité d'un balisage dépend de la façon dont les obstacles se présentent aux pilotes. Il n'existe pas de règles impératives mais essentiellement des recommandations à titre indicatif.

Il est alors recommandé de baliser :

- ☞ aux abords d'un aérodrome à vols autorisés la nuit et le jour les obstacles difficiles à distinguer ainsi que tout obstacle massif qui dépasserait une surface parallèle à la surface limite des obstacles massifs situés en dessous à une distance verticale de 20m pour les classes A et B et 10m pour les classes C et D ;
- ☞ les obstacles massifs exceptionnels d'une hauteur propre supérieure à 30m qui dépasseraient de plus de 80m la moyenne des côtes du terrain naturel observée dans un rayon de 400m autour du point considéré ;
- ☞ les obstacles massifs qui se trouveraient sur des points de passage naturel ou obligé.

Il est aussi recommandé de baliser les obstacles minces :

- ☞ dans les zones de dégagement des aérodromes s'ils dépassent une surface parallèle à la surface limite des obstacles massifs et situés en dessous d'une distance verticale de 30m pour les classes A et B, 20m pour la classe C et 10m pour la classe D ;
- ☞ dans la zone de dégagement des aérodromes ainsi que sur les points de passage obligé, pour tout sommet d'obstacle qui dépasse les 20m en dessous de la moyenne des côtes du terrain naturel dans un rayon de 200m autour du point considéré.

d) Dispositions particulières des lignes électriques

- ☞ Dans les trouées, il est recommandé de relever de 10 à 20m la marge adoptée pour la suppression des obstacles minces lorsqu'il s'agit de ligne électrique de deuxième catégorie (tension dépassant 600volts continues) et de troisième catégorie (tension supérieure à 650volts entre phase neutre et alternative).
- ☞ Dans la trouée, il est recommandé de baliser les lignes électriques de deuxième et troisième catégorie qui dépasseraient une surface parallèle à celle-ci et situées au dessous d'elle à :
 - 45m pour les aérodromes de classe A et B ;
 - 35m pour les aérodromes de classe C ;
 - 25m pour les aérodromes de classe D .
- ☞ Il est recommandé de baliser les lignes électriques situées en dehors des trouées mais sur le reste de la surface de dégagement et qui s'en approcheraient à une distance verticale inférieure à :
 - 30m pour les aérodromes de classe A et B ;
 - 20m pour les aérodromes de classe C ;
 - 10m pour les aérodromes de classe D.

I.3/ BANDE ET VOIE DE CIRCULATION

Les voies de circulation sont des surfaces aménagées en vue d'assurer la sécurité et la rapidité des mouvements des aéronefs en surface.

La conception d'une voie de circulation exige que, lorsque le poste de pilotage de l'avion auquel elle est destinée reste à la verticale des marques axiales de cette voie, la marge minimale entre les roues extérieures de l'atterrisseur principale de l'avion et le bord de voie de circulation ne soit pas inférieure à la valeur indiquée dans le tableau ci-dessous :

Distance des voies de circulation

Lettre de code	A	B	C		D	E
			E <18m	E >18m		
Dégagement (m)	1.5	2.25	3	4.5	4.5	4.5

Source : Conception et exploitation technique des aérodromes volume I (Annexe 14)

E : empattement (distance entre l'atterrisseur avant et le centre géométrique de l'atterrisseur principal.)

I.3.1/ LARGEUR DES VOIES DE CIRCULATION

La largeur des voies de circulation ne doit pas être inférieure à la valeur indiquée dans le tableau ci-dessous :

Largeur des voies de circulation.

Lettre de code	A	B	C		D		E
			Pour E < 18m	Pour E > 18m	Largeur hors tout du train principal < 9m	Largeur hors tout du train principal > 9m	
Largeur(m)	7.5	10.5	15	18	18	23	23

Source : Conception et exploitation technique des aérodromes volume I (Annexe 14)

I.4/ PENTE DE PISTE

La pente longitudinale fait partie des paramètres qu'il faut prendre en compte lors de la conception d'une piste car elle influe sur le calcul de la longueur réelle de la piste.

Cette pente est obtenue en faisant le rapport de la différence entre le niveau maximale et le niveau minimale le long de l'axe de la piste et elle ne devrait pas dépasser les valeurs suivantes :

- ☞ 1% lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
- ☞ 2% lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Aucune portion de piste ne devrait présenter une pente longitudinale dépassant :

- ☞ 1,25% lorsque le chiffre de code est 4 sauf sur le premier et le dernier quart de la longueur de la piste où la valeur maximale est 0,8% ;
- ☞ 1,5% lorsque le chiffre de code est 3 sauf sur le premier et le dernier quart de la longueur d'une piste avec approche de précision de catégorie II ou III où la valeur ne devrait pas dépasser 0,8% ;
- ☞ 2% lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Le tableau suivant donne les valeurs de la pente d'une piste suivant les catégories de l'aérodrome :

Pente d'une piste.

Caractéristiques géométriques de la piste	Catégorie A	Catégorie B		Catégorie C			Catégorie D
	Classe A	Classe B1	Classe B2	Classe C1	Classe C2	Classe C3	
<u>Profil en long</u>							
-Pente moyenne maximale (%)	1	1	1,5	1,5	1,5	1	
-Pente maximale en chaque point (%)	1,25	1,25	1,5	1,5	1,5	1,25	2
-Changement de pente maximale (%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2
-Rayon de courbure minimale conseillé (m)	20.000	15.000	15.000	5.000	10.000	15.000	3.000
-Rayon de courbure conseillé (m)	30.000	30.000	15.000	15.000	15.000	30.000	7.500
-Rayon de courbure optimale (m)	50.000	50.000	30.000	30.000	30.000	50.000	10.000
<u>Profil en travers</u>							
-Pente normale (%)	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	
-Pente minimale admissible (%)	1	1	1	1	1	1	
-Pente maximale admissible (%)	2	2	2	2	2		

Source : ITAC

Comme pour les chaussées routières, l'eau est aussi à craindre pour les chaussées aéronautiques, dans la mesure où elle pourrait nuire à la stabilité des avions par le phénomène de glissance et à la bonne tenue du corps de la chaussée sous l'effet de l'infiltration d'eau.

Alors il est prudent d'adopter le profil en travers en toit pour assurer un assèchement aussi rapide que possible de la piste. A faute de profil en toit on peut aussi admettre les profils en travers à pente uniforme descendante dans le sens du vent dominant de pluie ou de deux versants dissymétriques dans le cas d'un élargissement dans un seul côté.

L'idéale serait que la pente transversale ne dépasse pas :

- ☞ 1,5% lorsque la lettre d'identification est C, D, E ;
- ☞ 2% si la lettre est A ou B.

Le tableau précédent nous informe aussi sur les pentes de profil en travers qu'on peut adopter suivant les catégories de l'aérodrome.

I.5/ ACCOTEMENT DE PISTE

I.5.1/ DEFINITION

L'accotement est une surface aménagée suivant la longueur d'une chaussée afin d'assurer la continuité entre le niveau du bord latéral de la piste et le terrain naturel.

I.5.2/ LARGEUR DES ACCOTEMENTS DE PISTE

Pour une piste donnée, les accotements doivent s'étendre symétriquement de part et d'autre de la piste de telle sorte que la largeur totale de la piste et de ses accotements ne soit pas inférieure à 60 m.

I.5.3/ PENTE DE L'ACCOTEMENT DE PISTE

Au raccordement d'un accotement et la piste, la surface de l'accotement doit se trouver au même niveau que la surface de la piste et que sa pente transversale ne dépasse pas 2,5%.

I.6/ PROLONGEMENT D'UNE PISTE

Pendant la conception d'un aérodrome, il faut surtout assurer la sécurité des avions ou du moins minimiser les dégâts en cas d'accident. Pour cela, le concepteur des aires de mouvement aéronautique devrait prévoir des prolongements sur la piste.

I.6.1/ PROLONGEMENT DEGAGE

Le prolongement dégagé est une partie de terrain, éventuellement de plan d'eau, coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, incorporant le prolongement d'arrêt s'il existe et ne présentant aucun obstacle pouvant constituer un danger pour un aéronef volant à faible hauteur en fin de manœuvre de décollage.

Le prolongement dégagé devrait commencer à l'extrémité de la longueur de roulement utilisable au décollage et il est caractérisé par sa longueur et sa largeur.

a) Longueur du prolongement dégagé

Il n'existe pas de formule spécifique pour calculer cette longueur, mais en principe elle est inférieure à la moitié de la longueur de roulement utilisable au décollage.

b) Largeur du prolongement dégagé

Comme la longueur du prolongement dégagé, sa largeur n'est pas non plus calculable mais elle devrait au moins s'étendre sur 75m de part et d'autre du prolongement de l'axe de la piste.

I.6.2/ PROLONGEMENT D'ARRET

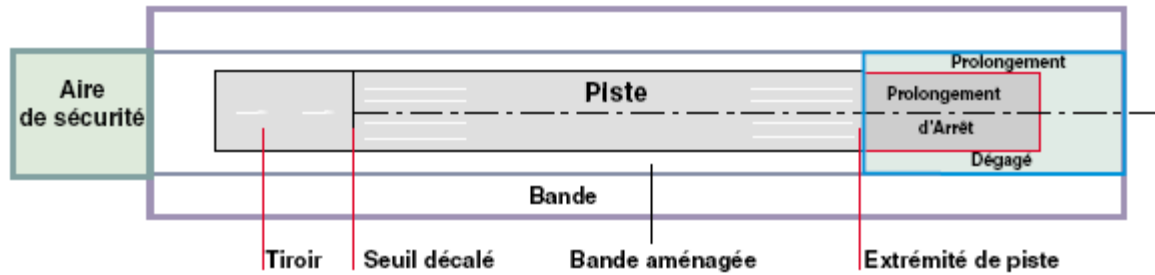
Un prolongement d'arrêt est une partie de terrain coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, de même largeur que celle de la piste, construite de façon à permettre à un aéronef de s'arrêter sans dommage en cas de décollage interrompu.

En effet, pour bien assurer son fonctionnement au cas où il est revêtu, il doit être construit de manière à ce que son coefficient de frottement soit suffisant lorsque sa surface est mouillée. Dans le cas contraire son effet de freinage ne devrait pas être sensiblement inférieur à celui de la piste à laquelle il est associé.

I.6.3/ L'AIRE DE SECURITE D'EXTREMITÉ DE PISTE

On appelle aire de sécurité d'extrémité de piste, une surface adjacente à l'extrémité de la bande et extérieure à celle-ci, symétrique par rapport au prolongement de l'axe de la piste et principalement destinée à réduire les risques de dégâts matériels au cas où un aéronef atterrirait trop court ou dépasserait l'extrémité de la piste.

La figure de la page suivante illustre les définitions des différentes aires qu'une piste peut avoir.



Vue en plan d'une piste.

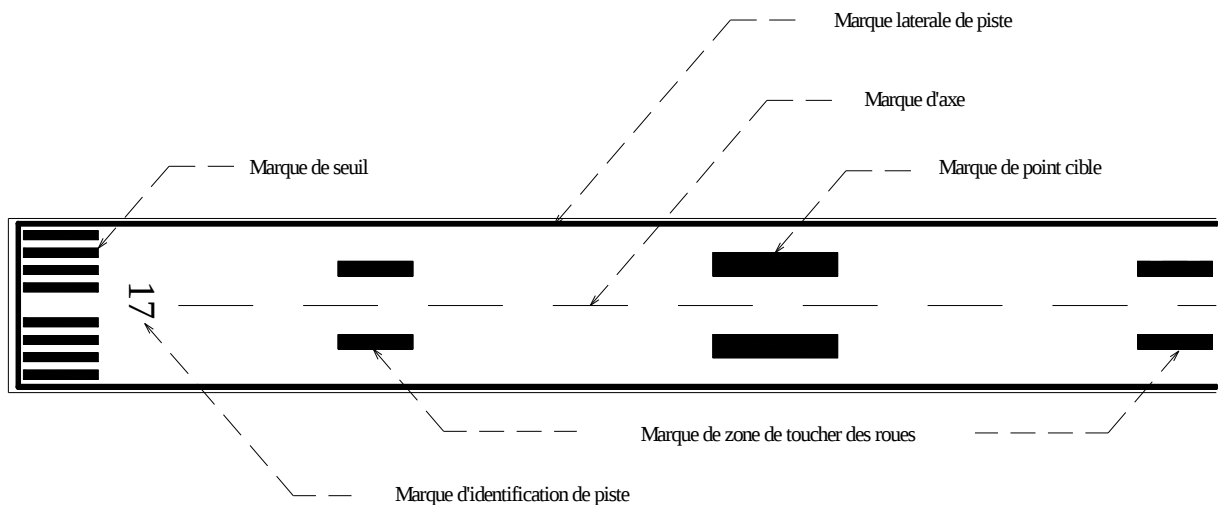
I.7/ LES MARQUES AERONAUTIQUES

Pour faciliter les opérations de manœuvre du pilote lors du décollage ou de l'atterrissage et assurer la sécurité des aéronefs pendant leur circulation en surface, des marques sont disposées sur la piste et les différentes aires de l'aérodrome.

Les marques aéronautiques les plus courantes sont :

- ☞ Les marques d'identification de piste ;
- ☞ La marque d'axe de piste ;
- ☞ Les marques de seuil ;
- ☞ Les marques de point cible ;
- ☞ Les marques des zones de touchée des roues ;
- ☞ Les marques latérales de piste ;
- ☞ La marque axiale des voies de circulation (Dans les zones de virage).

La figure ci après illustre les différentes marques qu'on peut rencontrer sur une piste.



Les marques aéronautiques.

I.8/ SERVICE D'URGENCE

I.8.1/ PLAN D'URGENCE D'UN AERODROME

Pour pouvoir faire face à une situation d'urgence survenant sur un aérodrome ou dans son voisinage, il faut établir ce qu'est un plan d'urgence.

Le plan d'urgence a pour but de limiter le plus possible les effets d'une situation d'urgence à savoir : le maintien des opérations aériennes et le sauvetage des vies humaines.

Dans ce plan il y a la spécification des procédures à suivre afin de coordonner les activités des divers services de l'aérodrome et celui des agglomérations voisines qui pourraient aider à faire face aux situations d'urgences.

L'établissement d'un plan d'urgence pour un aérodrome donné dépend alors des opérations aériennes et des autres activités auxquelles il est destiné.

I.8.2/ SAUVETAGE ET LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Un aérodrome doit être doté de services et de matériels de sauvetage et de lutte contre l'incendie afin de limiter la perte humaine et les dégâts dus au feu lors d'un accident d'avion ou d'une incendie quelconque sur un aérodrome et aux abords.

Il est alors exigé d'avoir en permanence la possibilité de faire face à un incendie tout en mettant en oeuvre les différentes opérations de sauvetage en cas d'un accident d'aéronef ou d'un accident quelconque.

I.8.3/ NIVEAU DE PROTECTION

Le niveau de protection pour assurer un aérodrome correspond à la catégorie de l'aérodrome déterminé à l'aide du tableau ci après.

Catégorie d'aérodrome pour le sauvetage et la lutte contre l'incendie.

Catégorie d'aérodrome	1	2	3	4	5
Largeur hors tout de l'avion (m)	0 à 9	9 à 12	12 à 18	18 à 24	24 à 28
Largeur maximale du fuselage (m)	2	2	3	4	4

Source : manuel de conception d'aéroport.

I.8.4/ AGENT EXTINCTEUR

Il est exigé pour un aérodrome d'être doté à la fois d'un agent extincteur principale et d'agents extincteurs complémentaires.

L'agent extincteur principale doit être :

- une mousse satisfaisante au niveau A de performance minimale ; ou
- une mousse satisfaisante au niveau B de performance minimale; ou
- une combinaison de ces agents.

Il est à noter que pour les aérodromes de catégories 1 à 3 l'agent extincteur principal devrait de préférence satisfaire au niveau B de performance minimale.

L'agent extincteur complémentaire doit être :

- le CO₂ ; ou
- un agent chimique en poudre ; ou
- un hydrocarbure halogéné (halon) ; ou
- une combinaison de ces agents.

Le tableau suivant indique le débit de mousse minimale utilisable.

Catégorie d'aérodrome	Mousse satisfaisant au niveau A de performance		Mousse satisfaisant au niveau B de performance		Agents complémentaires		
	Eau (L)	Débit solution de mousse (L/min)	Eau (L)	Débit solution de mousse (L/min)	Poudres (kg)	Halons (kg)	CO ₂ (kg)
1	350	350	230	230	45	45	90
2	1.000	800	670	550	90	90	180
3	1.800	1.300	1.200	900	135	135	270
4	3600	2600	400	1800	135	135	270
5	100	4500	400	3000	180	180	360

Source : Conception et technique des aérodromes volume I.

I.8.5/ POSTE D'INCENDIE

Les véhicules de sauvetages et d'incendie doivent être stationnés dans un poste d'incendie préalablement choisis de façon qu'ils aient un accès clair et direct aux pistes avec un nombre minimal de virage.

La communication avec le poste d'incendie sera assurée à l'aide d'un système de liaison spécialisé afin de permettre le signalement rapide des incendies.

I.9/ QUANTITE COLORIMETRIQUE

Conformément aux spécifications en vigueur de la commission internationale de l'éclairage (CIE) dans ce paragraphe nous allons définir les limites colorimétriques des couleurs à utiliser pour les feux aéronautiques à la surface et pour le marquage des surfaces.

Les quantités colorimétriques sont exprimées par rapport à l'observateur de référence et dans le système de coordonnées adopté par la commission internationale de l'éclairage.

Les quantités colorimétriques des feux aéronautiques à la surface ne devraient pas dépasser les limites ci après.

- Rouge :

Limite pourpre	$y = 0,980 - x$
Limite jaune	$y = 0,335$
- Jaune:

Limite rouge	$y = 0,382$
Limite blanche	$y = 0,790 - 0,667x$
Limite verte	$y = x - 0,120$
- Vert :

Limite jaune	$x = 0,360 - 0,080 y$
Limite blanche	$x = 0,650 y$
Limite bleue	$y = 0,390 - 0,171x$
- Bleue :

Limite verte	$y = 0,805x + 0,065$
Limite blanche	$y = 0,400 - x$
Limite pourpre	$x = 0,600 y + 0,133$ et
- Blanc :

Limite jaune	$x = 0,500$
Limite bleue	$x = 0,285$
Limite verte	$y = 0,440$ et $y = 0,150 + 0,640x$
Limite pourpre	$y = 0,050 + 0,750x$ et $y = 0,382$
- Blanc variable :

Limite jaune	$x = 0,255 + 0,750y$ et
--------------	-------------------------

$$x = 1,185 - 1.500 y$$

Limite bleue	$x = 0,285$
Limite verte	$y = 0,440$ et $y = 0,150 + 0,640 x$
Limite pourpre	$y = 0,050 + 0,750x$ et $y = 0,382$

Les quantités colorimétriques et les facteurs de luminance des couleurs ordinaires pour les marques à la surface doivent demeurer dans les limites ci après :

- Rouge

Limite pourpre	$y = 0,345 - 0.051x$
Limite blanche	$y = 0,910 - x$
Limite orangée	$y = 0.314 + 0.047 x$
Facteur de luminance	$\beta = 0.07$ (min)
- Orangé

Limite rouge	$y = 0,265 + 0.205 x$
Limite blanche	$y = 0,910 - x$
Limite jaune	$y = 0,207 + 0.390 x$
Facteur de luminance	$\beta = 0.20$ (min)
- Jaune

Limite orangée	$y = 0,108 + 0,707x$
Limite blanche	$y = 0,910 - x$
Limite verte	$y = 1,35 x - 0.093$
Facteur de luminance	$\beta = 0,45$ (min)
- Blanc

Limite pourpre	$y = 0,010 + x$
Limite bleue	$y = 0,610 - x$
Limite verte	$y = 0,030 + x$
Limite jaune	$y = 0,710 - x$
Facteur de luminance	$B = 0,75$ (min)
- Noir

Limite pourpre	$y = x - 0,030$
Limite bleue	$y = 0,570 - x$
Limite verte	$y = 0,050 + x$
Limite jaune	$y = 0,740 - x$

Facteur de luminance $\beta = 0,03$ (max)

Vert tirant sur le jaune

Limite verte $Y = 1,317 x + 0,4$

Limite blanche $y = 0,910 - x$

Limite jaune $Y = 0,867 x + 0,4$

Source : Conception et technique des aérodromes volume I.

II/ DETERMINATION D'UNE EPAISSEUR EQUIVALENTE D'UNE CHAUSSEE

RIGIDE

Le dimensionnement d'une chaussée rigide comporte cinq étapes :

- ☞ prévision de trafic ;
- ☞ détermination des caractéristiques du sol support ;
- ☞ recensement des facteurs climatiques ;
- ☞ détermination de l'épaisseur et du type de fondation ;
- ☞ calcul de l'épaisseur de la dalle en béton.

II.1/ PREVISION DE TRAFIC

L'épaisseur calculée de la dalle de béton étant plus sensible aux variations de charges qu'aux variations du nombre de mouvement, il est important de recenser avec le maximum de précision les charges réelles des différents avions pris en compte.

La méthode de dimensionnement forfaitaire est généralement d'une précision suffisante pour le calcul des chaussées rigides. La méthode de dimensionnement optimisée n'est utilisée que pour des études particulières.

II.2/CARACTERISTIQUES DU SOL SUPPORT

Le sol support est caractérisé par son module de réaction « K_0 ». Le module K_0 est mesuré sur le terrain naturel pour le cas d'un déblai ou sur le sol rapporté pour le cas d'un remblai.

Ce module est évalué à l'aide d'un essai de plaque effectué in situ sur le sol compacté à 95 % de l'OPM sur une épaisseur correspondant à celle qui est attendue lors de la réalisation des Travaux. (En générale de l'ordre d'une trentaine de cm)

II.3/ CONDITION CLIMATIQUE

Le recensement des facteurs climatiques comprend celui des prévisions météorologiques :

- ☞ La pluviométrie et la température prévisible au moment de chantier déterminent les conditions de bétonnage ;
- ☞ L'étude de la cote de la nappe phréatique en fonction de la saison indique la nécessité de prévoir ou non une couche drainante ;
- ☞ Le relevé des indices de gel est nécessaire pour établir la vérification au gel/dégel des structures.

II.4/ COUCHE DE FONDATION

La couche de fondation intervient de manière réduite dans les calculs comme simple terme correctif du module de réaction du sol support K_0 qui a lui-même une faible incidence. Cependant son rôle est important et multiple car elle doit :

- ☞ assurer la contrainte de l'appui des dalles au droit des joints ;
- ☞ par son poids s'opposer au gonflement éventuel du terrain naturel et contribuer à assurer la protection de ce dernier contre le gel ;
- ☞ offrir une surface stable pour le déroulement des travaux de bétonnage ;
- ☞ s'opposer à la remontée des fines par pompage au droit des joints.

Dans le but d'assurer correctement ces rôles, les dispositions suivantes doivent être appliquées :

- ☞ La couche de fondation doit être traitée par l'emploi de préférence de graves traités aux liants hydrauliques ;
- ☞ L'épaisseur réelle de la couche de fondation doit être au minimum 15cm de manière à assurer une bonne mise en œuvre du matériau. Pour ne pas modifier le mode de fonctionnement de la structure de la chaussée la couche traitée ne doit pas être trop épaisse (pas plus d'une vingtaine de centimètres) ;
- ☞ Les spécifications des matériaux utilisables en couche de fondation sont celles applicables aux chaussées routières.

II.5/ EPAISSEUR DE LA DALLE EN BETON

Par suite de la rigidité du béton, les contraintes verticales appliquées sur la fondation par une dalle en béton chargée sont faibles. La dalle assure la répartition des efforts dus aux charges par mobilisation de sa résistance à la flexion.

Par conséquent, contrairement à ce qui se passe pour une chaussée souple, le critère de dimensionnement d'une chaussée rigide repose sur le moment de flexion admissible de la dalle.

Les paramètres pris en compte pour le béton sont :

- ☞ le module d'élasticité : $E = 30.000 \text{ MPa}$.
- ☞ le coefficient de poisson : $\nu = 0,15$.

Pour le dimensionnement, la caractéristique du béton prise en compte est la contrainte admissible de traction par flexion σ_{bt} qui est égale à la résistance de traction par flexion à la rupture du béton mesurée à 90 jours notés f_{t90} divisée par un coefficient de sécurité CS.

$$\sigma_{bt} = \frac{f_{t90}}{CS}$$

III/ METHODE OPTIMISEE

L'utilisation de la méthode de dimensionnement optimisée permet de calculer une épaisseur de chaussée en considérant plusieurs types d'avion à leurs fréquences et charges respectives et pour une durée de vie donnée.

Cette méthode présente l'avantage de convertir les mouvements réels de chacune des charges et atterrisseurs réels considérés en mouvement équivalent de même charge de référence.

Elle est généralement utilisée pour le cas des aérodromes importants ainsi que pour l'octroi des dérogations.

On donne une procédure par séquence dans laquelle on détermine l'épaisseur équivalente du corps de la chaussée :

- ☞ la pondération des charges selon la fonction de l'aire est toujours tenue ;
- ☞ tous les modèles d'avion sont recensés.

Deux modèles du même avion sont considérés comme différents si les caractéristiques de leurs atterrisseurs sont différentes (comme exemple : nombre de roues, pression de gonflage,...)

Plusieurs charges réelles « $P_{i,j}$ » peuvent être considérées par modèle noté « i » avec leur nombre de mouvements réels noté « $n_{i,j}$ » et sont transformées en charges réelles pondérées « $P'_{i,j}$ » pour tenir compte de la fonction de l'aire :

- ☞ en vue d'un calcul par itération une épaisseur initiale est choisie comme épaisseur équivalente totale pour une chaussée souple ou épaisseur de la dalle de béton pour une chaussée rigide.

Pour chacune des avions paraissant les plus contraignants il convient de calculer l'épaisseur qui lui serait nécessaire en appliquant la méthode de dimensionnement forfaitaire. La plus grande des épaisseurs ainsi obtenue, majorée de quelques centimètres, fournit en générale une épaisseur initiale assez proche de la valeur définitive.

- ☞ Pour chaque modèle d'avion (i), la charge admissible P_{oi} est déterminée à partir des abaques des chaussées souples ou chaussées rigides correspondant à l'épaisseur choisie ;
- ☞ Pour chaque modèle d'avion (i), les $n_{i,j}$ mouvements réels de chaque charge réelle pondérée $P'_{i,j}$ sont convertis en $n'_{i,j}$ mouvement équivalent à la charge admissible P_{oi} . Pour cela, pour chaque modèle d'avion (i) et chaque charge $P'_{i,j}$:

On détermine
$$R_{i,j} = \frac{P'_{i,j}}{P_{oi}}$$

Avec : $R_{i,j} \leq 1,2$ pour les aires de stationnement ;

$R_{i,j} \leq 1,5$ pour les autres aires.

Si ces conditions ne sont pas vérifiées, le calcul est recommencé à la séquence 3 avec une épaisseur initiale majorée.

- ☞ Le coefficient de pondération $CP_{i,j}$ des mouvements réels est calculé par la relation :

$$CP_{i,j} = 10^{5(R_{i,j}-1)}$$

- ☞ Le nombre de mouvement équivalent $n'_{i,j}$ est alors obtenu par la formule :

$$n'_{i,j} = n_{i,j} * CP_{i,j}$$

- ☞ Le nombre total des mouvements équivalents de tous les modèles d'avion est calculé en additionnant tous les mouvements équivalents $n'_{i,j}$: c'est le trafic équivalent.

- ☞ Si le trafic équivalent est sensiblement inférieur à 36500, l'épaisseur essayée est trop importante et le calcul doit être repris depuis la séquence 3 avec une épaisseur plus petite.

De même dans le cas où le trafic équivalent est supérieur à 36500, on a un surdimensionnement.

ANNEXE B:
**ANNEXE B:
MODELE DE PREVISION
PREVISION DE CHIFFRE D'AFFAIRE**

ANNEXE B

I/ MODELES PREVISIONNELS ET MATHEMATIQUES

Pour pouvoir penser au nombre ou au cardinal d'une population dans le futur, il faut s'appuyer sur la méthode de prévision.

I.1/ TYPE DE PREVISION

Nous allons utiliser, pour la dite étude, la prévision de planification à long terme. A ce propos, le terme de prévision varie de zéro à T ans : durée de service envisagé de la piste d'aérodrome.

I.2/ METHODE ET MODELE MATHEMATIQUE

On applique ici la méthode continue en prenant comme variable le temps.

Les principaux modèles mathématiques fréquemment utilisables sont :

- ☞ Les modèles linéaires ;
- ☞ Les modèles logarithmiques ;
- ☞ Les modèles exponentiels ;
- ☞ Les modèles puissances.

I.3/ EXPOSE THEORIQUE

I.3.1/ POSITION DU PROBLEME

Soit t le variable temps.

$y(t)$ une fonction empirique du temps t pour laquelle au temps t_0 nous avons recueilli les valeurs observées du passé suivantes : $y(t_0-1)$, $y(t_0-2)$... $y(t_0-N)$.

Nous devons établir à partir de ces données les estimations de la valeur future $y(t_0 + \theta)$ dans laquelle θ représente le terme de la prévision.

I.3.2/ FONCTION DE DEVELOPPEMENT LINEAIRE

Supposons que pour les valeurs passées de $y(t)$, on ait :

$$\frac{\Delta_y}{\Delta_t} = y(t) - y(t-1) = a = C^{te}$$

C'est-à-dire la variation différentielle dy de y est proportionnelle à la variation du temps dt , en passant bien sûr à la limite, on a l'équation différentielle $\frac{dy}{dt} = a$. Et après intégration, la fonction de développement linéaire s'écrit : $y(t) = at + b$, dans laquelle :

a : est la vitesse de développement de y ;

$b = y(0)$: est la valeur initiale de y .

I.3.3/ FONCTION EXPONENTIELLE DE DEVELOPPEMENT

En remarquant que la vitesse de développement de plusieurs processus statistiques de fait d'une manière régulière, on a les relations empiriques suivantes :

$$\frac{\Delta_y}{\Delta_t} = [y(t) - y(t-1)] \frac{y(t)}{y(t-1)} \approx a$$

Et en passant à la limite, on a l'équation différentielle : $\frac{dy}{dt} = a y(t)$

C'est-à-dire la variation de y par rapport au temps (vitesse de variation) est proportionnelle à $y(t)$.

Après intégration, nous obtenons la fonction exponentielle de développement

$y(t) = e^{at} e^b$ ou bien $\ln y(t) = at + b$ dans laquelle :

a est la vitesse de développement de y ;

$e^b = y(0)$ est la valeur initiale de y .

I.4/ VERIFICATION ET CONSTRUCTION DES PREDICTORS

I.4.1/ MODELE LINEAIRE

a) La vérification

Elle consiste à montrer qu'il existe une corrélation linéaire entre la variable t et la fonction $y(t)$ par la méthode de corrélation de la statistique mathématique.

A cet égard, on doit calculer :

☞ Le coefficient de corrélation linéaire :

$$r_{y,t} = \frac{\sum_{i=0}^N (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^N (t_i - \bar{t})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

Avec $\bar{t} = \frac{1}{N} \sum t_i$ et $\bar{y} = \frac{1}{N} \sum y_i$

☞ Le rapport statistique de Student :
$$T = \frac{|r_{i,t}|}{\sqrt{1 - r_{y,t}^2}} \sqrt{N - 2}$$

Rappelons que dans la théorie des probabilités, si $y(t)$ est une variable aléatoire obéissant à la loi normale, alors le rapport statistique T sera une variable aléatoire obéissant à la loi de Student – Fisher à $N-2$ degré de liberté. On doit chercher dans la table de Student – Fisher par un seuil de confiance α donc à $N-2$ degré de liberté la valeur de t_α .

On compare ensuite T avec t_α :

☞ Si $T > t_\alpha$: la relation entre y et t est de la forme linéaire ;

☞ Si $T < t_\alpha$: l'hypothèse de relation linéaire entre y et t est à rejeter.

b) La construction du predictor

Ayant vérifié la condition $T > t_\alpha$, on passe à la construction du predictor. On doit calculer alors le coefficient a et b de la limite de régression moyenne.

Le predictor linéaire est de la forme $y(t) = at + b$ en résolvant le système d'équation.

$$\text{D'où : } a = \frac{\sum (y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sum (t_i - \bar{t})^2}$$

$$\text{et } b = \bar{y} - a\bar{t}$$

La valeur prévue de y au moment $t_0 + \theta$ sera alors donnée par :

$$Y(t_0 + \theta) = a(t_0 + \theta) + b$$

I.4.2/ MODELE EXPONENTIEL

a) La vérification

Elle se fait de la même manière que celle du modèle linéaire tout en prenant :

$$r_{\log y, t} = \frac{\sum_i (t_i - \bar{t})(\log y_i - \overline{\log y})}{\sqrt{\sum_i (t_i - \bar{t})(\log y_i - \overline{\log y})^2}}$$

$$\text{Et } T = \frac{|r_{\log y, t}|}{\sqrt{1 - r_{\log y, t}^2}} \sqrt{N - 2}$$

b) La construction de predictor

Elle se fait d'une manière analogue à celle du modèle linéaire. La forme courante du predictor est :

$$y(t) = e^{at} e^b \quad \text{et l'autre forme était } \log y = at + b.$$

a et b sont données par :

$$a = \frac{\sum (\log y_i - \overline{\log y})(t_i - \bar{t})}{\sum (t_i - \bar{t})^2}$$

$$\text{et } b = \overline{\log y} - a\bar{t}$$

Noter enfin que le calcul pratique se fait au moyen de tableau ou à l'aide de calculatrice fx 100s VPAM qui comprend la programmation automatique.

I.5/ Estimation de l'erreur

Appelons $\varepsilon(t) = y(t) - y^*(t)$ l'erreur au moment t. En se basant sur l'hypothèse que y(t) suit une loi normale, on démontre que $\varepsilon(t)$ obéit elle aussi à la loi normale avec une moyenne $\bar{\varepsilon} = 0$ et une variance $D\varepsilon = \text{constante}$.

A un moment $\varphi = t_0 + \theta$ l'erreur commise sur y(φ) est $Z(\varphi) = y(\varphi) - y^*(\varphi)$ qui obéit elle aussi à la loi normale. L'erreur de précision est prise égale à la variance $\sigma_z(\varphi)$, soit en prenant $t_0 = 0$ comme dans le cas pratique.

$$\sigma_z(\varphi) = D_\varepsilon \left[1 + \frac{1}{N} + \frac{(\varphi - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^N (t_i - \bar{t})^2} \right]$$

II./ PREVISION DE CHIFFRE D'AFFAIRE(C.A)**II.1/ RECETTE POUR L'AERODROME****Taux de redevance**

<u>Minimum de perception</u>	5 355	fmg
1er 14 tonnes	1 829	fmg/T
De 15 à 25 tonnes	6 713	fmg/T
De 26 à 75tonnes	13 539	fmg/T
De 76 à 150tonnes	17 175	fmg/T
>150 tonnes	16 181	fmg/T
 <u>Stationnement</u>	 115	 fmg/T/H
Carburant	27	fmg/l
AV Gaz	36	fmg/l
Eclairage	200 000	fmg

Recettes

Poids total en tonnes	65
-----------------------	----

Atterrissage

Minimum de perception	5 355	fmg
Premiers 14 tonnes	25 606	fmg
De 15 à 25 tonnes	73 843	fmg
De 26 à 75tonnes	541 560	fmg
De 76 à 150tonnes	-	fmg
>150 tonnes	-	fmg
		fmg

Stationnement	9 488	fmg
----------------------	-------	-----

Total par mouvement	655 852	fmg
---------------------	---------	-----

Pour 2 mouvements par semaine	1 311 703	fmg
-------------------------------	-----------	-----

Pour 1année	62 961 744	fmg
--------------------	-------------------	-----

En supposant 5% de surplus pour l'arrivée éventuelle d'autres avions on a :	66 109 831	fmg
---	-------------------	-----

II.2 / RECETTES ENGENDREES PAR LE PROJET POUR LES AUTRES

ACTIVITES

	50%passagers	50%passagers	80%passagers	50%passagers
	HOTELS	RESTAURENTS	Taxis	PARC
C.A / Jour pour 1mouvement par semaine	650 000	700 000	600 000	8 400 000
C.A par mouvement				
C.A engendré en une semaine pour 1 mouvement	4 550 000	4 900 000	600 000	58 800 000
C.A engendré en une semaine pour 2 mouvements	9 100 000	9 800 000	1 200 000	117 600 000
C.A engendré par an pour 2 mouvements par semaine	436 800 000	470 400 000	57 600 000	5 644 800 000
Effectif	11	9	10	1
TOTAL/Activité/an	4 804 800 000	4 233 600 000	576 000 000	5 644 800 000

Le chiffre d'affaire engendré par l'introduction du Boeing 737-400 à ANTALAHA est alors la somme de tous les résultats que nous venons de calculer et il est évalué

à **15 325 309 831 Fmg** .

Le recette pour tous les trafics, pour une hypothèse de deux mouvements par semaine et un taux d'accroissement de trafic $\alpha = 0,035$ est donné par la formule :

$$R_{i+1} = R_i (1 + \alpha)^{t_i - t_i - 1}$$

Le tableau suivant montre les résultats de calcul :

Année	C.A en Fmg
1	15 325 309 831
2	15 861 695 675
3	16 416 855 024
4	16 991 444 950
5	17 586 145 523
6	18 201 660 616
7	18 838 718 738
8	19 498 073 894
9	20 180 506 480
10	20 886 824 207
11	21 617 863 054
12	22 374 488 261
13	23 157 595 350
14	23 968 111 187
15	24 806 995 079

ANNEXE C:
ANNEXE C:
DEVIS DESCRIPTIF
DEVIS DESCRIPTIF
DEVIS QUANTITATIF

ANNEXE C

I. / DEVIS DESCRIPTIF

Les devis descriptifs seront affectés aux :

- ☞ Travaux de renforcement, élargissement et rallongement de la chaussée aéronautique ;
- ☞ Travaux d'assainissement.

I.1/ TRAVAUX DE RENFORCEMENT ET RALLONGEMENT DE LA CHAUSSEE AERONAUTIQUE

I.1.1/ PRIX N°0 01 Installation de chantier

Ce prix rémunère la fourniture à pied d'œuvre des campements des matériels, équipements prévus sur le chantier et les matériaux prévus pour les Travaux.

I.1.2/ PRIX N°0 02 Replis de chantier

Ce prix rémunère le replis et le nettoyage total de chantier.

I.1.3/ PRIX N°1 01 Point a temps

Ce prix s'applique au METRE CARRE par emplois partiel de point à temps, il comprend :

- ☞ Le nettoyage et balayage vif de la chaussée pour évacuer l'eau et les souillures diverses, ainsi que les découpages des bords à franc de cavité ;
- ☞ Toutes les fournitures ;
- ☞ Le transport quelque soit la distance ;
- ☞ La mise en œuvre quelque soit la sujétion.

I.1.4/ PRIX N°1 02 Débroussaillage et désherbage

Ce prix rémunère le désherbage et débroussaillage et le décapage du sol végétal pour une épaisseur moyenne de 20cm. Il s'applique au METRE CARRE de la surface traitée et il comprend :

- ☞ L'évacuation des produits extraits ;
- ☞ Leur mise en dépôt dans l'enceinte de l'aérodrome ;
- ☞ Toute sujétion de mise en œuvre.

I.1.5/ PRIX N°1 03 Enlèvement des matériaux compressibles

Ce prix rémunère l'enlèvement des matériaux compressibles. Elle s'applique au METRE CUBE de matériaux extraits et comprend :

- ☞ L'extraction ;
- ☞ Le chargement ;
- ☞ La mise en dépôt éventuel et toutes sujétions.

I.1.6/ PRIX N°1 04 Le déblais

Ce prix rémunère l'exécution de déblais. Il s'applique au METRE CUBE de matériaux extraits et comprend :

- ☞ L'extraction ;
- ☞ Le chargement ;
- ☞ La mise en dépôt éventuel et toutes sujétions.

I.1.7/ PRIX N°1 05 Remblais ordinaire en matériaux d'emprunt pour de couche de plate forme

Ce prix rémunère au METRE CUBE la fourniture et la mise en œuvre de remblais qui va constituer la plate forme de la nouvelle chaussée et sa bande. Il comprend :

- ☞ La fourniture de matériaux d'emprunt et leur transport ;
- ☞ La mise en œuvre ;
- ☞ Le compactage et toutes sujétions.

I.1.8/ PRIX N°1 06 Matériaux sélectionnés pour couche de fondation

Ce prix rémunère au METRE CUBE la fourniture et la mise en œuvre des matériaux sélectionnés pour la constitution de la couche de fondation et comprend :

- ☞ La fourniture et le transport de matériaux sélectionnés ;
- ☞ La mise en œuvre ;
- ☞ Le compactage et toutes sujétions.

I.1.9/ PRIX N°1 07 GCNT 0/31⁵ pour couche de base

Ce prix rémunère au METRE CUBE la fourniture et la mise en œuvre de GCNT pour couche de base de la chaussée et comprend :

- ☞ La fourniture des matériaux et leur transport ;
- ☞ La fabrication ;
- ☞ L'épandage et toute sujétion de mise en œuvre.

I.1.10/ PRIX N°1 08 Grave bitume pour renforcement

Ce prix est évalué en TONNE et comprend :

- ☞ Toute fourniture et transport ;
- ☞ Tous les frais et sujétion de fabrication au central ;
- ☞ Le balayage à vif de la surface préalablement à la mise en œuvre.

I.1.11/ PRIX N°1 09 Cut-back 0/1 pour imprégnation

Ce prix rémunère en TONNE de cut-back 0/1 répandue pour imprégnation de la surface de tout venant et comprend :

- ☞ La fourniture de toutes sujétions ;
- ☞ Les transports sur toutes distances ;
- ☞ Les dopes éventuels ;
- ☞ L'épandage.

I.1.12/ PRIX N°1 10 Cut-back 400/600 pour couche d'accrochage

Le prix de la réalisation de la couche d'accrochage en cut-back 400/600 s'applique en TONNE et comprend :

- ☞ Le nettoyage et le balayage de la surface ;
- ☞ Tous les frais et sujétions de fabrication ;
- ☞ Toute la fourniture et transport ;
- ☞ Tous les frais et sujétions de mise en œuvre.

I.1.13/ PRIX N°1 11 Béton bitumineux

Ce prix est évalué en TONNE et comprend :

- ☞ Toute fourniture de transport ;
- ☞ Tous les frais et sujétion de fabrication au central ;
- ☞ Le balayage à vif de la surface préalablement à la mise en œuvre ;
- ☞ Tous les frais et sujétion de mise en œuvre.

I.1.14/ PRIX N°1 12 Couche anti-kérosène pour l'aire de stationnement

Ce prix rémunère la fourniture et la mise en œuvre de l'enduit anti-kérosène. Ce prix s'applique au METRE CARRE de la surface en raison de 1kg/m².

I.1.15/ PRIX N°1 13 Peinture et marquage au sol

Ce prix rémunère la fourniture et la mise en œuvre des peintures destinées pour chaque aire. Il s'applique au KILOGRAMME de peinture utilisée et inclura :

- ☞ L'effacement de l'ancienne peinture ;
- ☞ Le lavage de la surface ;
- ☞ Le traçage de la réalisation des travaux en raison de 1kg/m².

I.2/ TRAVAUX D'ASSAINISSEMENT

Les travaux d'assainissement comprennent essentiellement :

- ☞ La remise en état de tous les ouvrages d'assainissement existant ;
- ☞ La construction des tranchés drainant en dessous de la couche de fondation ;
- ☞ La construction de puisards tous les 200m pour recueillir les eaux des drains.

I.2.1/ PRIX N°2 01 Remise en état des ouvrages d'assainissement

Ce prix rémunère tous les Travaux relatives aux réparation et curage des ouvrages d'assainissement.

I.2.2/ PRIX N°2 02 Tranché drainant

Ce prix rémunère au METRE LINEAIRE la fourniture et la mise en œuvre de tranché drainant et tous les sujétions relatives aux Travaux.

I.2.3/ PRIX N°2 03 Puisard

Ce prix, appliqué par UNITE de puisard rémunère la fourniture, la fabrication et tous les sujétions de mise en œuvre.

II. / DEVIS QUANTITATIF

Dans cette partie nous allons procéder à la quantification des différents Travaux par déduction de volume, de surface, de poids ou de nombre d'unité suivant le prix qui lui sera appliqué.

II.1/ TRAVAUX DE RENFORCEMENT ET ELARGISSEMENT DE LA CHAUSSEE

PRIX N°1 01 Point à temps

Évalué à 2% de la surface totale

Surface totale	Unité	Quantité
759	m2	759

PRIX N°1 04 Le déblais pour élargissement.

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Épaisseur (m)	Unité	Quantité
Élargissement piste: 2,5m * 2 jusqu'au niveau de la CF					
Zone 1 à gauche	441,25	2,5	0,2	m3	220,625
Zone 1 à droite	500	2,5	0,2	m3	250
Zone 2	540	5	0,23	m3	621
Zone 3 à gauche	153	2,5	0,2	m3	76,5
Zone 3 à droite	94,25	2,5	0,2	m3	47,125

Élargissement accotement de piste:15m*2 sur toute l'épaisseur de la chaussée

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Épaisseur (m)	Unité	Quantité
Zone 1 à gauche	Surface =	6859,375	0,48	m3	3292,5
Zone 1 à droite	500	15	0,48	m3	3600
Zone 2	540	15	0,51	m3	4131
Zone 3 à gauche	153	15	0,48	m3	1101,6
Zone 3 à droite	Surface =	1654,375	0,48	m3	794,1

PRIX N°1 05 Remblais en matériaux d'emprunt

Pour rehausser le niveau de l'ancienne bande de piste

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Épaisseur (m)	Unité	Quantité
Piste	1260	90	0,35	m3	39690

PRIX N°1 06 Matériaux sélectionnés pour couche de fondation

Élargissement accotement de piste:15m * 2 sur toute l'épaisseur de la chaussée

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Épaisseur (m)	Unité	Quantité
Zone 1 à gauche	Surface =	6859,375	0,83	m3	5693,28125
Zone 1 à droite	500	15	0,83	m3	6225
Zone 2	540	15	0,83	m3	6723
Zone 3 à gauche	153	15	0,83	m3	1904,85
Zone 3 à droite	Surface =	1654,375	0,83	m3	1373,13125

PRIX N°1 07 GCNT 0/31⁵ pour couche de base**Elargissement piste: 2,5m * 2 jusqu'au niveau de la CR**

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Zone 1à gauche	441,25	2,5	0,2	m3	220,625
Zone 1à droite	500	2,5	0,2	m3	250
Zone 2	540	5	0,23	m3	621
Zone 3	153	5	0,2	m3	153

PRIX N°1 08 Grave bitume pour renforcement

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Piste					
Zone 1	500	30	0,12	m3	1800
Zone 2	540	30	0,1	m3	1620
Zone 3	153	30	0,12	m3	550,8
Raquette= ((45*12,5+12,5*12,5/2)*2) =				m3	153,75
Bretelle	89,2	15	0,1	m3	133,8
Aire de station	80	65	0,14	m3	728

PRIX N°1 09 Cut-back 0/1 pour imprégnation

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Dosage	Unité	Quantité
Zone 1	500	30	1,2	kg/m2	18000
Zone 2	540	30	1,2	kg/m2	19440
Zone 3	153	30	1,2	kg/m2	5508
Raquette= ((45*12,5+12,5*12,5/2)*2) =			1,2	kg/m2	1537,5
Bretelle	89,2	15	1,2	kg/m2	1605,6
Aire de station	80	65	1,2	kg/m2	6240

PRIX N°1 10 Cut-back 400/600 pour couche d'accrocha ge

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Dosage	Unité	Quantité
Zone 1	500	30	0,6	kg/m2	9000
Zone 2	540	30	0,6	kg/m2	9720
Zone 3	153	30	0,6	kg/m2	2754
Raquette= ((45*12,5+12,5*12,5/2)*2) =			0,6	kg/m2	768,75
Bretelle	89,2	15	0,6	kg/m2	802,8
Aire de station	80	65	0,6	kg/m2	3120

PRIX N°1 11 Béton bitumineux

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Piste					
Zone 1	500	30	0,07	m3	1050
Zone 2	540	30	0,07	m3	1134
Zone 3	153	30	0,07	m3	321,3
Raquette= ((45*12,5+12,5*12,5/2)*2) =				m3	89,6875
Bretelle	89,2	15	0,07	m3	93,66
Aire de station	80	65	0,08	m3	416

ASSAINISSEMENT**N° 01 Remise en état des ouvrages d'assainissement**

Évalué à 5% du prix des travaux de renforcement

PRIX N° 02 Tranché drainant

A construire sur toute la longueur de la piste et sur les deux côtés tous les 200m.

Longueur (m)	unité	Quantité
2426	ml	4852

PRIX N° 03 Puisard

A construire dans les deux cotés tous les 200m.

Unité	Quantité
U	24

TRAVAUX DE RALLONGEMENT**PRIX N° 02 Débroussaillage et désherbage**

Préparation de la nouvelle bande d'envol = (1230*150)

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Pk1+223 à Pk2+426	1233	150		m2	184950

PRIX N° 04 Le déblais

Préparation du longueur restant de l'ancienne bande de piste

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Pk1+193 à Pk1+223 (Piste)	30	60	0,68	m3	1224

PRIX N° 05 Remblais en matériaux d'emprunt pour de couche de plate forme

Préparation de la nouvelle bande d'envol = (1230*150)

	Unité	Quantité
$1203 \times 150 \times 1,90 - ((30 \times 1203 \times 0,68) + (15 \times 2 \times 1203 \times 0,68)) =$	m3	302322,6

PRIX N° 06 Matériaux sélectionnés pour couche de fondation

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Piste	1233	30	0,25	m3	9247,5
Nouvelle raquette	51,25	12,5	0,25	m3	160,15625
Accotement droit	1233	15	0,83	m3	15350,85
Accotement gauche	Surface =	17854,375	0,83	m3	14819,13125

PRIX N°1 07 GCNT 0/31⁵ pour couche de base

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Piste	1233	30	0,35	m3	12946,5
Nouvelle raquette	51,25	12,5	0,35	m3	224,21875

PRIX N°1 09 Cut-back 0/1 pour imprégnation

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Dosage	Unité	Quantité
Piste	1233	30	1,2	kg/m2	44388
Nouvelle raquette	51,25	12,5	1,2	kg/m2	768,75

PRIX N°1 10 Cut-back 400/600 pour couche d'accrochage

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Dosage	Unité	Quantité
Piste	1233	30	0,6	kg/m2	22194
Nouvelle raquette	51,25	12,5	0,6	kg/m2	384,375

PRIX N°1 11 Béton bitumineux

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)	Unité	Quantité
Piste	1233	30	0,08	m3	2959,2
Nouvelle raquette	51,25	12,5	0,08	m3	51,25

PRIX N°1 12 Couche anti-kérosène pour l'aire de stationnement

Localisation	Longueur (m)	Largeur (m)	Dosage	Unité	Quantité
Aire de stationnement	80	65	1	kg/m2	5200

PRIX N°1 13 Peinture et marquage au sol

Surface totale	Dosage	Unité	Quantité
5500	1	kg/m2	5500

III / SOUS DETAIL DES PRIX

III.1/ COEFFICIENT DE MAJORATION DES DEBOURSES

Calcul de frais généraux proportionnels aux déboursés: $A_1 = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$

Frais d'agence et patente :	$a_1 = 3,8$
Frais de chantier :	$a_2 = 5,1$
Frais d'étude au laboratoire :	$a_3 = 1,52$
Assurance :	$a_4 = 1,25$
On a alors la valeur de :	$A_1 = 11,67$

Calcul des bénéfices brut et frais financier proportionnel au prix de revient:

$$A_1 = a_5 + a_6 + a_7 + a_8$$

Bénéfice et impôt sur le bénéfice :	$a_5 = 13$
Aléas techniques :	$a_6 = 1,95$
Aléas de révision de prix :	$a_7 = 2,05$
Frais financiers :	$a_8 = 2$
On alors la valeur de :	$A_2 = 19$

Calcul frais de siège: $A_3 = a_9$

Entreprise qui siège à Madagasikara	$a_9 = 0$
-------------------------------------	-----------

Taxes proportionnels au déboursé: T

Nous allons prendre :	$T = 0$
-----------------------	---------

Le coefficient de majoration des déboursés:

$$K = (1 + A_1 / 100) * (1 + A_2 / 100) / (1 + A_3 / 100) * (1 + T / 100)$$

D'où	$K = 1,33$
------	------------

III.2/ TABLEAUX DE SOUS DETAIL DE PRIX

Désignation:	Désherbage/Débroussaillage
Prix N°	1 02
Rendement :	3500 m²/J
	Unité: m²

DESIGNATION	Unité	Quantité unitaire	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Pelle CAT215	U	1	H	8	125 000	1 000 000			
Camion benne (12m ³)	U	2	H	16	80 000	1 280 000			
Bull D6	U	1	H	4	135 000	540 000			2 820 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Conducteurs	HJ	2	H	12	3 500		42 000		
Chauffeurs	HJ	2	H	16	3 500		56 000		130 000
<u>MATERIAUX</u>									
						Total des déboursés =			2 950 000
K= 1,33						Prix unitaire = K*D/R =			1 120
						Prix arrondi =			1 120

Désignation:	Enlèvement de matériaux compressibles
Prix N°	1 03
Rendement :	500 m³/J
	Unité : m³

DESIGNATION	Unité	Quantité unitaire	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Pelle CAT215	U	1	H	8	125 000	1 000 000			
Camion benne (12m ³)	U	3	H	24	80 000	1 920 000			
Bull D6	U	1	H	8	135 000	1 080 000			4 000 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Ouvrier spécialisé	HJ	1	H	8	3 000		24 000		
Manœuvre	HJ	2	H	16	2 500		40 000		
Chauffeur	HJ	3	H	24	3 500		84 000		
Conducteurs	HJ	2	H	16	3 500		56 000		236 000
<u>MATERIAUX</u>									
						Total des déboursés =			4 236 000
K= 1,33						Prix unitaire = K*D/R			11 258
						Prix unitaire arrondi =			11 300

Désignation: Déblai Prix N° 1 04 Rendement : 700 m³/J Unité: m³									
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

DESIGNATION	Unité	Quantité unitaire	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Pelle CAT215	U	1	H	8	125000	1 000 000			
Camion benne (12m ³)	U	3	H	24	80 000	1 920 000			
Bull D6	U	1	H	4	135 000	540 000			3 460 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	1	H	8	3 000		24 000		
Manœuvres	HJ	2	H	16	2 500		40 000		
Conducteurs	HJ	2	H	12	3 500		42 000		
Chauffeurs	HJ	3	H	24	3 500		84 000		222 000
<u>MATERIAUX</u>									
K= 1,33						Total des déboursés =			3 682 000
						Prix unitaire = K*D/R =			6 990
						Prix arrondi =			7 000

Désignation: Remblai d'emprunt Prix N° 1 05 Rendement : 500 m³/J Unité: m³									
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--

DESIGNATION	Unité	Quantité unitaire	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Pelle CAT215	U	1	H	8	125 000	1 000 000			
Camion benne (12m ³)	U	4	H	32	80 000	2 560 000			
Niveleuse	U	1	H	8	175 000	1 400 000			
Compacteur pneumatique (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Compacteur à jante lisse (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Camion arroseur	U	1	H	8	80 000	640 000			
Moto pompe	U	1	H	8	35 000	280 000			7 400 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	2	H	16	3 000		48 000		
Manœuvres	HJ	5	H	40	2 500		100 000		
Conducteurs	HJ	4	H	32	3 500		112 000		

Chauffeurs	HJ	5	H	40	3 500		140 000		432 000
	HJ		H						
	HJ		H						
<u>MATERIAUX</u>									
Total des déboursés =									7 832 000
K= 1,33									Prix unitaire = K*D/R = 20 815
									Prix unitaire arrondi = 20 800

Désignation: Couche de fondation	
Prix	
N° 1 06	
Rendement : 350 m³/J	Unité : m³

DESIGNATION	Unité	Qtt Unit	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Pelle CAT215	U	1	H	8	125 000	1 000 000			
Camion benne (12m³)	U	4	H	32	80 000	2 560 000			
Niveleuse	U	1	H	8	175 000	1 400 000			
Compacteur pneumatique (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Compacteur à jante lisse (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Camion arroseur	U	1	H	8	80 000,00	640 000			
Moto pompe	U	1	H	8	35 000,00	280 000			7 400 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	2	H	16	3 000		48 000		
Manœuvres		6	H	48	2 500		120 000		
Conducteurs	HJ	4	H	32	3 500		112 000		
Chauffeurs	HJ	5	H	40	3 500		140 000		452 000
<u>MATERIAUX</u>									
Matériaux sélectionné	m³		m³	390	15 000			5 850 000	5 850 000
								-	
Total des déboursés =									13 702 000
K= 1,33									Prix unitaire = K*D/R = 52 023
									Prix unitaire arrondi = 52 000

Désignation: Couche de base en GCNT 0/30⁵		
Prix N° 1 07		
Rendement : 250	m³/J	Unité: m³

DESIGNATION	Unité	Qtt	COUTS			DEPENSES			TOTAL
		unit	U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
<u>MATERIEL</u>									
Pelle CAT215	U	1	H	8	125 000	1 000 000			
Bull	U	1	H	8	135 000	1 080 000			
Camion benne (12m³)	U	4	H	32	80 000	2 560 000			
Niveleuse	U	1	H	8	175 000	1 400 000			
Compacteur pneumatique (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Compacteur à jante lisse (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Camion arroseur	U	1	H	8	80 000,00	640 000			8 200 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	2	H	16	3 000		48 000		
Manœuvres	HJ	10	H	80	2 500		200 000		
Conducteurs	HJ	5	H	40	3 500		140 000		
Chauffeurs	HJ	5	H	40	3 500		140 000		560 000
<u>MATERIAUX</u>									
GCNT 031/ ⁵	m³		m³	313	15 000			4 695 000	4 695 000
Total des déboursés =									13 455 000
K= 1,33		Prix unitaire = K*D/R =							71 520
Prix unitaire arrondi =									71 500

Désignation: Grave bitume		
Prix N° 1 08		
Rendement : 300	T/J	Unité: T

DESIGNATION	Unité	Qtt	COUTS			DEPENSES			TOTAL
		unit	U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
	U	1	H	8	-	-			
Camion benne (12m ³)	U	4	H	32	80 000	2 560 000			
Finisseur	U	1	H	8	215 000	1 720 000			
Compacteur pneu	U	1	H	8	95 000	760 000			

(h) Compacteur à jante (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Central d'enrober	fft	fft	fft	fft	9 250 000	9 250 000			15 050 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	2	H	16	4 000		64 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	4	H	32	3 000		96 000		
Manœuvres	HJ	6	H	48	2 500		120 000		
Conducteurs	HJ	3	H	24	3 500		84 000		
Chauffeurs	HJ	4	H	32	3 500		112 000		476 000
<u>MATERIAUX</u>									
Bitume 80/100	T		T	11	3 460 000			36 330 000	
GCNT 0/31 ⁵	m ³		m ³	132	125 000			16 448 864	52 778 864
						Total des déboursés =		68 304 864	
K= 1,33						Prix unitaire = K*D/R =		302 562	
						Prix unitaire arrondi =		302 600	

Désignation: Cut back 0/1 pour imprégnation

Prix

N° 1 09

Rendement : 3,5 T/J

Unité: T

DESIGNATION	Unité	Qtt unit	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Epandeur	U	1	H	8	200 000	1 600 000			1 600 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Conducteurs	HJ	1	H	16	3 500		56 000		
Manœuvres	HJ	2	H	8	2 500		20 000		76 000
<u>MATERIAUX</u>									
Bitume	T		T	1,79	3 460 000			6 176 100	
Pétrole	l		l	250	4 000			1 000 000	7 176 100
						Total des déboursés =		8 852 100	
K= 1,33						Prix unitaire = K*D/R =		3 360 948	
						Prix unitaire arrondi =		3 360 900	

Désignation: Cut back 400/600 pour accrochage	
Prix	
N° 1 10	
Rendement :	3,5 T/J
Unité: T	

DESIGNATION	Unité	Quantité unitaire	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	Matériaux	
<u>MATERIEL</u>									
Epandeuse	U	1	H	8	200 000	1 600 000			1 600 000
					-	-			
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Conducteurs	HJ	1	H	16	3 500		56 000		
Manœuvres	HJ	2	H	8	2 500		20 000		76 000
<u>MATERIAUX</u>									
Bitume	T		T	1,79	3 460 000			6 176 100	
Pétrole	l		l	500	4 000			2 000 000	8 176 100
Total des déboursés =									9 852 100
K= 1,33					Prix unitaire K*D/R =				3 740 626
Prix unitaire arrondi =									3 740 600

Désignation: Béton bitumineux	
Prix	
N° 1 11	
Rendement :	300 T/J
Unité: T	

DESIGNATION	Unité	Qtt unit	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Camion benne (12m ³)	U	4	H	32	80 000	2 560 000			
Finisseuse	U	1	H	8	215 000	1 720 000			
Compacteur pneumatique (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Compacteur à jante lisse (h)	U	1	H	8	95 000	760 000			
Central d'enrober	fft	fft	fft	fft	9 250 000	9 250 000			15 050 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	2	H	16	4 000		64 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	4	H	32	3 000		96 000		
Manœuvres	HJ	6	H	48	2 500		120 000		
Conducteurs	HJ	3	H	12	3 500		42 000		
Chauffeurs	HJ	4	H	32	3 500		112 000		434 000

MATERIAUX									
Bitume 80/100	T		T	15	3 460 000			51 900 000	
GCNT 0/31 ⁵	m ³		m ³	150	125 000			18 750 000	70 650 000
Total des déboursés =									86 134 000
K= 1,33				Prix unitaire = K*D/R =				381 537	
Prix unitaire arrondi =									381 500

Désignation: Peiture de marquage au sol	
Prix	
N° 1 13	
Rendement : 60 KG/J	Unité: KG

DESIGNATION	Unité	Qtt unit	COUTS			DEPENSES			TOTAL
			U	Q	PU	Matériel	Main d'œuvre	MO	
<u>MATERIEL</u>									
Pinceau	U	4	U	4	33 500	134 000			
Rouleau	U	4	U	4	28 000	112 000			
Règle de 2 mètres	U	2	U	2	4 500	9 000			255 000
<u>MAIN D'ŒUVRE</u>									
Chef d'équipe	HJ	1	H	8	4 000		32 000		
Ouvriers spécialisés	HJ	4	H	32	3 000		96 000		
Manœuvres	HJ	4	H	32	2 500		80 000		208 000
<u>MATERIAUX</u>									
Peinture	KG		KG	60	53 400			3 204 000	3 204 000
Total des déboursés =									3 667 000
K= 1,33				Prix unitaire = K*D/R =				81 216	
Prix unitaire arrondi =									81 200

ANNEXE D:
ANNEXE D:
VERIFICATION DES CONTRAINTES

ANNEXE D

VERIFICATION DES CONTRAINTES

I./ Structures des chaussées pour chaque zone

Matériaux	Zone 1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stat	Extension	MODULE (bars)
EDC	7	7	7	8	8	25000
GB	12	10	10	14		6500
ES	2	2	3	3		25000
GCNT	18	21	22	20	35	5000
CF	28	28	25	20	25	1250
PF	∞	∞	∞	∞	∞	500

II./ Modèle tricouche équivalente obtenu pour chaque zone

Matériaux	Zone 1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stat	Extension	MODULE (bars)
Couche 1(CR)	7	7	7	8	8	25000
Couche 2	39,93	40,41	39,83	39,84	49,17	6500
Couche 3(PF)	∞	∞	∞	∞	∞	500

III. / Les paramètres de calcul pour chaque zone

q (Mpa)	1,44				
a (cm)	18,34				
	Zone 1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stat	Extension
$K_1=E_1/E_2$	3,84615	3,84615	3,84615	3,84615	3,84615
$K_2=E_2/E_3$	13	13	13	13	13
$A_1=a/H_2$	0,45916	0,45378	0,46036	0,46021	0,37289
$H=h_1/h_2$	0,17529	0,17323	0,17575	0,20079	0,16269

<u>Domaines de définition des paramètres</u>					
	Zone 1 et Zone3	Zone 2	Bretelle	Aire de stat	Extension
H	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125
	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
K ₁	2	2	2	2	2
	20	20	20	20	20
K ₂	2	2	2	2	2
	20	20	20	20	20
A ₁	0,4	0,4	0,4	0,4	0,2
	0,8	0,8	0,8	0,8	0,4

IV./ Calcul des contraintes pour chaque zone

IV.1/ Calcul des contraintes pour les zone 1 et zone 3

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
ZONE 1 et ZONE 3					
Paramètres	0,12500		2,00000	2,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,68044	0,99434	0,14791	0,31390	0,72687
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,79970	0,22319	0,14791	-0,57651	0,71443
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,35488	0,11164	0,14791	-0,24324	0,31890
$1/q\sigma_{z2}$	0,12667	0,36032	0,14791	0,23365	0,16123
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,23531	0,63003	0,14791	0,39472	0,29369
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,11766	0,31501	0,14791	0,19735	0,14685

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	20,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,97493	0,97006	0,14791	-0,00487	0,97421
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,46583	0,66535	0,14791	0,19952	0,49534
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,23297	0,33270	0,14791	0,09973	0,24772
$1/q\sigma_{z2}$	0,03392	0,11350	0,14791	0,07958	0,04569
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,49523	0,49612	0,14791	0,00089	0,49536
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,02476	0,07431	0,14791	0,04955	0,03209

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	13,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,72687	0,97421	0,61111	0,24734	0,87802
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,71443	0,49534	0,61111	-0,21909	0,58054
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,31890	0,04569	0,61111	-0,27321	0,15194
$1/q\sigma_{z2}$	0,16123	0,04569	0,61111	-0,11554	0,09062
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,29369	0,49536	0,61111	0,20167	0,41694
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,14685	0,03209	0,61111	-0,11476	0,07672

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	2,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,78651	1,02218	0,14791	0,23567	0,82137
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	5,16717	3,43631	0,14791	-1,73086	4,91115
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,25836	0,17182	0,14791	-0,08654	0,24556
$1/q\sigma_{z2}$	0,11650	0,34941	0,14791	0,23291	0,15095
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,21640	0,60493	0,14791	0,38853	0,27387
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,10820	0,30247	0,14791	0,19427	0,13693

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	20,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,77394	0,98610	0,14791	0,21216	0,80532
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	5,05409	2,92533	0,14791	-2,12876	4,73922
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,25274	0,14627	0,14791	-0,10647	0,23699
$1/q\sigma_{z2}$	0,02710	0,09061	0,14791	0,06351	0,03649
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,43263	1,33736	0,14791	0,90473	0,56645
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,02163	0,06687	0,14791	0,04524	0,02832

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	13,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,82137	0,80532	0,61111	-0,01605	0,81156
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	4,91115	4,73922	0,61111	-0,17193	4,80608
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,24556	0,23699	0,61111	-0,00857	0,24032
$1/q\sigma_{z2}$	0,15095	0,03649	0,61111	-0,11446	0,08100
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,27387	0,56645	0,61111	0,29258	0,45267
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,13693	0,02832	0,61111	-0,10861	0,07056

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		3,84615	13,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,87802	0,81156	0,10256	-0,06646	0,87121
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,58054	4,80608	0,10256	4,22554	1,01393
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,15194	0,24032	0,10256	0,08838	0,16100
1/q σ_{z2}	0,09062	0,08100	0,10256	-0,00962	0,08964
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,41694	0,45267	0,10256	0,03573	0,42060
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07672	0,07056	0,10256	-0,00616	0,07609

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
ZONE 1 et ZONE 3					
Paramètres	0,25000		2,00000	2,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,77930	0,96703	0,14791	0,18773	0,80707
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,96634	0,66885	0,14791	-0,29749	0,92234
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,48317	0,33442	0,14791	-0,14875	0,46117
1/q σ_{z2}	0,10306	0,31771	0,14791	0,21465	0,13481
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,19178	0,55211	0,14791	0,36033	0,24508
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09589	0,27605	0,14791	0,18016	0,12254

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	20,00000	0,45916

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,76647	0,92757	0,14791	0,16110	0,79030
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,84462	0,21951	0,14791	-0,62511	0,75216
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,42231	0,10076	0,14791	-0,32155	0,37475
1/q σ_{z2}	0,02697	0,09285	0,14791	0,06588	0,03671
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,39919	1,20565	0,14791	0,80646	0,51848
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01996	0,06328	0,14791	0,04332	0,02637

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	13,00000	0,45916
	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,80707	0,79030	0,61111	-0,01677	0,79682
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,92234	0,75216	0,61111	-0,17018	0,81834
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,46117	0,37475	0,61111	-0,08642	0,40836
1/q σ_{z2}	0,13481	0,03671	0,61111	-0,09809	0,07486
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,24508	0,51848	0,61111	0,27340	0,41215
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,12254	0,02637	0,61111	-0,09617	0,06377

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	2,00000	0,45916
	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,37882	0,75904	0,14791	0,38022	0,43506
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,86779	5,50796	0,14791	1,64017	4,11039
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,19339	0,27540	0,14791	0,08201	0,20552
1/q σ_{z2}	0,07933	0,26278	0,14791	0,18345	0,10646
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,14159	0,44710	0,14791	0,30551	0,18678
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07079	0,22355	0,14791	0,15276	0,09339

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	20,00000	0,45916
	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,35716	0,68947	0,14791	0,33231	0,40631
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,13976	6,48948	0,14791	2,34972	4,48731
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20699	0,32447	0,14791	0,11748	0,22437
1/q σ_{z2}	0,01888	0,06741	0,14791	0,04853	0,02606
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,29072	0,98565	0,14791	0,69493	0,39351
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01454	0,04928	0,14791	0,03474	0,01968

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	13,00000	0,45916
	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,43506	0,40631	0,61111	-0,02875	0,41749
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,11039	4,48731	0,61111	0,37692	4,34073
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20552	0,22437	0,61111	0,01885	0,21704
1/q σ_{z2}	0,10646	0,02606	0,61111	-0,08041	0,05733
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,18678	0,39351	0,61111	0,20673	0,31311
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09339	0,01968	0,61111	-0,07371	0,04834

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		3,84615	13,00000	0,45916
	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,79682	0,41749	0,10256	-0,37933	0,75791
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,81834	4,34073	0,10256	3,52239	1,17961
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,40836	0,21704	0,10256	-0,19132	0,38873
1/q σ_{z2}	0,07486	0,05733	0,10256	-0,01754	0,07306
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,41215	0,31311	0,10256	-0,09904	0,40200
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,06377	0,04834	0,10256	-0,01542	0,06219

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Résultats finals pour Zone 1 et Zone 3					
Paramètres	0,17529		3,84615	13,00000	0,45916
	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultats
1/q σ_{z1}	0,87121	0,75791	0,40230	-0,11329	0,82563
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	1,01393	1,17961	0,40230	0,16568	1,08058
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,16100	0,38873	0,40230	0,22773	0,25262
1/q σ_{z2}	0,08964	0,07306	0,40230	-0,01657	0,08297
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,42060	0,40200	0,40230	-0,01860	0,41312
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07609	0,06219	0,40230	-0,01390	0,07049

q (Mpa)	1,44000
Contraintes	Valeurs (Mpa)
σ_{z1}	1,18890564
σ_{r1}	-0,3671336
σ_{r2}	0,82513387
σ_{z2}	0,11947575
σ'_{r2}	-0,4754111
σ_{r3}	0,01796404

IV.2/ Calcul des contraintes pour les zone 2

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
ZONE 2					
Paramètres	0,12500		2,00000	2,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,68044	0,99434	0,13445	0,31390	0,72264
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,79970	0,22319	0,13445	-0,57651	0,72219
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,35488	0,11164	0,13445	-0,24324	0,32218
$1/q\sigma_{z2}$	0,12667	0,36032	0,13445	0,23365	0,15808
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,23531	0,63003	0,13445	0,39472	0,28838
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,11766	0,31501	0,13445	0,19735	0,14419

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	20,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,97493	0,97006	0,13445	-0,00487	0,97428
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,46583	0,66535	0,13445	0,19952	0,49266
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,23297	0,33270	0,13445	0,09973	0,24638
$1/q\sigma_{z2}$	0,03392	0,11350	0,13445	0,07958	0,04462
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,49523	0,49612	0,13445	0,00089	0,49535
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,02476	0,07431	0,13445	0,04955	0,03142

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,72264	0,97428	0,61111	0,25163	0,87642
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,72219	0,49266	0,61111	-0,22953	0,58192
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,32218	0,04462	0,61111	-0,27756	0,15256
1/q σ_{z2}	0,15808	0,04462	0,61111	-0,11346	0,08874
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,28838	0,49535	0,61111	0,20697	0,41486
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,14419	0,03142	0,61111	-0,11277	0,07528

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	2,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,78651	1,02218	0,13445	0,23567	0,81820
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	5,16717	3,43631	0,13445	-1,73086	4,93446
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,25836	0,17182	0,13445	-0,08654	0,24672
1/q σ_{z2}	0,11650	0,34941	0,13445	0,23291	0,14781
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,21640	0,60493	0,13445	0,38853	0,26864
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,10820	0,30247	0,13445	0,19427	0,13432

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	20,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,77394	0,98610	0,13445	0,21216	0,80246
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	5,05409	2,92533	0,13445	-2,12876	4,76788
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,25274	0,14627	0,13445	-0,10647	0,23843
1/q σ_{z2}	0,02710	0,09061	0,13445	0,06351	0,03564
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,43263	1,33736	0,13445	0,90473	0,55427
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,02163	0,06687	0,13445	0,04524	0,02771

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,81820	0,80246	0,61111	-0,01573	0,80858
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	4,93446	4,76788	0,61111	-0,16658	4,83266
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,24672	0,23843	0,61111	-0,00830	0,24165
$1/q\sigma_{z2}$	0,14781	0,03564	0,61111	-0,11218	0,07926
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,26864	0,55427	0,61111	0,28563	0,44319
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,13432	0,02771	0,61111	-0,10661	0,06917

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		3,84615	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,87642	0,80858	0,10256	-0,06784	0,86946
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,58192	4,83266	0,10256	4,25074	1,01789
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,15256	0,24165	0,10256	0,08909	0,16170
$1/q\sigma_{z2}$	0,08874	0,07926	0,10256	-0,00948	0,08777
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,41486	0,44319	0,10256	0,02833	0,41777
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,07528	0,06917	0,10256	-0,00611	0,07465

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
ZONE 2					
Paramètres	0,25000		2,00000	2,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,77930	0,96703	0,13445	0,18773	0,80454
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,96634	0,66885	0,13445	-0,29749	0,92634
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,48317	0,33442	0,13445	-0,14875	0,46317
$1/q\sigma_{z2}$	0,10306	0,31771	0,13445	0,21465	0,13192
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,19178	0,55211	0,13445	0,36033	0,24023
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,09589	0,27605	0,13445	0,18016	0,12011

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	20,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,76647	0,92757	0,13445	0,16110	0,78813
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,84462	0,21951	0,13445	-0,62511	0,76057
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,42231	0,10076	0,13445	-0,32155	0,37908
1/q σ_{z2}	0,02697	0,09285	0,13445	0,06588	0,03583
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,39919	1,20565	0,13445	0,80646	0,50762
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01996	0,06328	0,13445	0,04332	0,02578

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,80454	0,78813	0,61111	-0,01641	0,79451
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,92634	0,76057	0,61111	-0,16577	0,82504
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,46317	0,37908	0,61111	-0,08409	0,41178
1/q σ_{z2}	0,13192	0,03583	0,61111	-0,09609	0,07320
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,24023	0,50762	0,61111	0,26739	0,40363
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,12011	0,02578	0,61111	-0,09433	0,06247

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	2,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,37882	0,75904	0,13445	0,38022	0,42994
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,86779	5,50796	0,13445	1,64017	4,08831
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,19339	0,27540	0,13445	0,08201	0,20442
1/q σ_{z2}	0,07933	0,26278	0,13445	0,18345	0,10399
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,14159	0,44710	0,13445	0,30551	0,18267
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07079	0,22355	0,13445	0,15276	0,09133

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	20,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,35716	0,68947	0,13445	0,33231	0,40184
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,13976	6,48948	0,13445	2,34972	4,45568
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20699	0,32447	0,13445	0,11748	0,22279
1/q σ_{z2}	0,01888	0,06741	0,13445	0,04853	0,02540
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,29072	0,98565	0,13445	0,69493	0,38415
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01454	0,04928	0,13445	0,03474	0,01921

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,42994	0,40184	0,61111	-0,02810	0,41277
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,08831	4,45568	0,61111	0,36737	4,31281
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20442	0,22279	0,61111	0,01837	0,21564
1/q σ_{z2}	0,10399	0,02540	0,61111	-0,07859	0,05597
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,18267	0,38415	0,61111	0,20149	0,30580
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09133	0,01921	0,61111	-0,07212	0,04726

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		3,84615	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,79451	0,41277	0,10256	-0,38174	0,75536
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,82504	4,31281	0,10256	3,48777	1,18276
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,41178	0,21564	0,10256	-0,19614	0,39166
1/q σ_{z2}	0,07320	0,05597	0,10256	-0,01723	0,07143
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,40363	0,30580	0,10256	-0,09784	0,39360
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,06247	0,04726	0,10256	-0,01521	0,06091

Résultats finals pour zone 2					
Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,17323		3,84615	13,00000	0,45378

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultats
$1/q\sigma_{z1}$	0,86946	0,75536	0,38585	-0,11410	0,82543
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	1,01789	1,18276	0,38585	0,16487	1,08151
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,16170	0,39166	0,38585	0,22997	0,25043
$1/q\sigma_{z2}$	0,08777	0,07143	0,38585	-0,01634	0,08147
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,41777	0,39360	0,38585	-0,02417	0,40844
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,07465	0,06091	0,38585	-0,01374	0,06935

q (Mpa)	1,44000
Contraintes	Valeurs (Mpa)
σ_{z1}	1,18862564
σ_{r1}	-0,3687432
σ_{r2}	0,82800746
σ_{z2}	0,11731162
σ'_{r2}	-0,4708442
σ_{r3}	0,01745017

IV.3/ Calcul des contraintes pour la bretelle

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Bretelle					
Paramètres	0,12500		2,00000	2,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,68044	0,99434	0,15091	0,31390	0,72781
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,79970	0,22319	0,15091	-0,57651	0,71270
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,35488	0,11164	0,15091	-0,24324	0,31817
$1/q\sigma_{z2}$	0,12667	0,36032	0,15091	0,23365	0,16193
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,23531	0,63003	0,15091	0,39472	0,29488
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,11766	0,31501	0,15091	0,19735	0,14744

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	20,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,97493	0,97006	0,15091	-0,00487	0,97420
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,46583	0,66535	0,15091	0,19952	0,49594
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,23297	0,33270	0,15091	0,09973	0,24802
1/q σ_{z2}	0,03392	0,11350	0,15091	0,07958	0,04593
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,49523	0,49612	0,15091	0,00089	0,49536
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,02476	0,07431	0,15091	0,04955	0,03224

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	13,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,72781	0,97420	0,61111	0,24638	0,87838
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,71270	0,49594	0,61111	-0,21676	0,58023
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,31817	0,04593	0,61111	-0,27224	0,15180
1/q σ_{z2}	0,16193	0,04593	0,61111	-0,11600	0,09104
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,29488	0,49536	0,61111	0,20049	0,41740
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,14744	0,03224	0,61111	-0,11520	0,07704

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	2,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,78651	1,02218	0,15091	0,23567	0,82208
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	5,16717	3,43631	0,15091	-1,73086	4,90596
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,25836	0,17182	0,15091	-0,08654	0,24530
1/q σ_{z2}	0,11650	0,34941	0,15091	0,23291	0,15165
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,21640	0,60493	0,15091	0,38853	0,27503
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,10820	0,30247	0,15091	0,19427	0,13752

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	20,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,77394	0,98610	0,15091	0,21216	0,80596
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	5,05409	2,92533	0,15091	-2,12876	4,73283
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,25274	0,14627	0,15091	-0,10647	0,23667
1/q σ_{z2}	0,02710	0,09061	0,15091	0,06351	0,03668
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,43263	1,33736	0,15091	0,90473	0,56916
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,02163	0,06687	0,15091	0,04524	0,02846

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	13,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,82208	0,80596	0,61111	-0,01612	0,81223
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,90596	4,73283	0,61111	-0,17313	4,80016
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,24530	0,23667	0,61111	-0,00863	0,24003
1/q σ_{z2}	0,15165	0,03668	0,61111	-0,11496	0,08139
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,27503	0,56916	0,61111	0,29413	0,45478
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,13752	0,02846	0,61111	-0,10906	0,07087

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		3,84615	13,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,87838	0,81223	0,10256	-0,06615	0,87159
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,58023	4,80016	0,10256	4,21993	1,01305
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,15180	0,24003	0,10256	0,08823	0,16085
1/q σ_{z2}	0,09104	0,08139	0,10256	-0,00965	0,09005
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,41740	0,45478	0,10256	0,03738	0,42123
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07704	0,07087	0,10256	-0,00617	0,07641

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Bretelle					
Paramètres	0,25000		2,00000	2,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,77930	0,96703	0,15091	0,18773	0,80763
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,96634	0,66885	0,15091	-0,29749	0,92145
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,48317	0,33442	0,15091	-0,14875	0,46072
1/q σ_{z2}	0,10306	0,31771	0,15091	0,21465	0,13545
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,19178	0,55211	0,15091	0,36033	0,24616
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09589	0,27605	0,15091	0,18016	0,12308

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	20,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,76647	0,92757	0,15091	0,16110	0,79078
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,84462	0,21951	0,15091	-0,62511	0,75028
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,42231	0,10076	0,15091	-0,32155	0,37378
1/q σ_{z2}	0,02697	0,09285	0,15091	0,06588	0,03691
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,39919	1,20565	0,15091	0,80646	0,52089
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01996	0,06328	0,15091	0,04332	0,02650

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	13,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,80763	0,79078	0,61111	-0,01685	0,79733
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,92145	0,75028	0,61111	-0,17116	0,81685
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,46072	0,37378	0,61111	-0,08694	0,40759
1/q σ_{z2}	0,13545	0,03691	0,61111	-0,09854	0,07523
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,24616	0,52089	0,61111	0,27474	0,41405
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,12308	0,02650	0,61111	-0,09658	0,06406

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	2,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,37882	0,75904	0,15091	0,38022	0,43620
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,86779	5,50796	0,15091	1,64017	4,11531
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,19339	0,27540	0,15091	0,08201	0,20577
1/q σ_{z2}	0,07933	0,26278	0,15091	0,18345	0,10701
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,14159	0,44710	0,15091	0,30551	0,18770
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07079	0,22355	0,15091	0,15276	0,09384

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	20,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,35716	0,68947	0,15091	0,33231	0,40731
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,13976	6,48948	0,15091	2,34972	4,49436
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20699	0,32447	0,15091	0,11748	0,22472
1/q σ_{z2}	0,01888	0,06741	0,15091	0,04853	0,02620
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,29072	0,98565	0,15091	0,69493	0,39559
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01454	0,04928	0,15091	0,03474	0,01978

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	13,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,43620	0,40731	0,61111	-0,02889	0,41854
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,11531	4,49436	0,61111	0,37905	4,34695
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20577	0,22472	0,61111	0,01895	0,21735
1/q σ_{z2}	0,10701	0,02620	0,61111	-0,08081	0,05763
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,18770	0,39559	0,61111	0,20790	0,31474
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09384	0,01978	0,61111	-0,07406	0,04858

Paramètres	0,25000		3,84615	13,00000	0,46036
-------------------	---------	--	---------	----------	---------

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Resultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,79733	0,41854	0,10256	-0,37879	0,75848
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,81685	4,34695	0,10256	3,53011	1,17891
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,40759	0,21735	0,10256	-0,19024	0,38808
$1/q\sigma_{z2}$	0,07523	0,05763	0,10256	-0,01760	0,07343
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,41405	0,31474	0,10256	-0,09931	0,40387
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,06406	0,04858	0,10256	-0,01547	0,06247

Résultats finals pour la bretelle					
Paramètres	0,17575		3,84615	13,00000	0,46036

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultats
$1/q\sigma_{z1}$	0,87159	0,75848	0,40596	-0,11311	0,82568
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	1,01305	1,17891	0,40596	0,16586	1,08038
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,16085	0,38808	0,40596	0,22723	0,25310
$1/q\sigma_{z2}$	0,09005	0,07343	0,40596	-0,01662	0,08330
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,42123	0,40387	0,40596	-0,01736	0,41418
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,07641	0,06247	0,40596	-0,01394	0,07075

q (Mpa)	1,44000
Contraintes	Valeurs (Mpa)
σ_{z1}	1,18897326
σ_{r1}	-0,366775
σ_{r2}	0,8245133
σ_{z2}	0,11995645
σ'_{r2}	-0,476466
σ_{r3}	0,01807807

IV.4/ Calcul des contraintes pour l'aire de stationnement

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Aire de stationnement					
Paramètres	0,12500		2,00000	2,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,68044	0,99434	0,15054	0,31390	0,72769
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,79970	0,22319	0,15054	-0,57651	0,71291
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,35488	0,11164	0,15054	-0,24324	0,31826
1/q σ_{z2}	0,12667	0,36032	0,15054	0,23365	0,16184
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,23531	0,63003	0,15054	0,39472	0,29473
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,11766	0,31501	0,15054	0,19735	0,14737

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	20,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,97493	0,97006	0,15054	-0,00487	0,97420
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,46583	0,66535	0,15054	0,19952	0,49586
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,23297	0,33270	0,15054	0,09973	0,24798
1/q σ_{z2}	0,03392	0,11350	0,15054	0,07958	0,04590
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,49523	0,49612	0,15054	0,00089	0,49536
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,02476	0,07431	0,15054	0,04955	0,03222

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,72769	0,97420	0,61111	0,24650	0,87833
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,71291	0,49586	0,61111	-0,21705	0,58027
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,31826	0,04590	0,61111	-0,27236	0,15182
1/q σ_{z2}	0,16184	0,04590	0,61111	-0,11594	0,09099
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,29473	0,49536	0,61111	0,20063	0,41734
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,14737	0,03222	0,61111	-0,11515	0,07700

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	2,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,78651	1,02218	0,15054	0,23567	0,82199
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	5,16717	3,43631	0,15054	-1,73086	4,90661
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,25836	0,17182	0,15054	-0,08654	0,24533
1/q σ_{z2}	0,11650	0,34941	0,15054	0,23291	0,15156
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,21640	0,60493	0,15054	0,38853	0,27489
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,10820	0,30247	0,15054	0,19427	0,13744

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	20,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,77394	0,98610	0,15054	0,21216	0,80588
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	5,05409	2,92533	0,15054	-2,12876	4,73364
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,25274	0,14627	0,15054	-0,10647	0,23671
1/q σ_{z2}	0,02710	0,09061	0,15054	0,06351	0,03666
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,43263	1,33736	0,15054	0,90473	0,56882
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,02163	0,06687	0,15054	0,04524	0,02844

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,82199	0,80588	0,61111	-0,01611	0,81214
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,90661	4,73364	0,61111	-0,17298	4,80091
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,24533	0,23671	0,61111	-0,00862	0,24006
1/q σ_{z2}	0,15156	0,03666	0,61111	-0,11490	0,08134
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,27489	0,56882	0,61111	0,29394	0,45452
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,13744	0,02844	0,61111	-0,10900	0,07083

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		3,84615	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,87833	0,81214	0,10256	-0,06619	0,87155
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,58027	4,80091	0,10256	4,22063	1,01316
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,15182	0,24006	0,10256	0,08825	0,16087
1/q σ_{z2}	0,09099	0,08134	0,10256	-0,00964	0,09000
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,41734	0,45452	0,10256	0,03718	0,42115
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07700	0,07083	0,10256	-0,00617	0,07637

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Aire de stationnement					
Paramètres	0,25000		2,00000	2,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,77930	0,96703	0,15054	0,18773	0,80756
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,96634	0,66885	0,15054	-0,29749	0,92156
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,48317	0,33442	0,15054	-0,14875	0,46078
1/q σ_{z2}	0,10306	0,31771	0,15054	0,21465	0,13537
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,19178	0,55211	0,15054	0,36033	0,24602
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09589	0,27605	0,15054	0,18016	0,12301

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	20,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,76647	0,92757	0,15054	0,16110	0,79072
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,84462	0,21951	0,15054	-0,62511	0,75052
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,42231	0,10076	0,15054	-0,32155	0,37391
1/q σ_{z2}	0,02697	0,09285	0,15054	0,06588	0,03689
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,39919	1,20565	0,15054	0,80646	0,52059
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01996	0,06328	0,15054	0,04332	0,02648

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,80756	0,79072	0,61111	-0,01684	0,79727
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,92156	0,75052	0,61111	-0,17104	0,81703
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,46078	0,37391	0,61111	-0,08687	0,40769
1/q σ_{z2}	0,13537	0,03689	0,61111	-0,09849	0,07519
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,24602	0,52059	0,61111	0,27457	0,41381
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,12301	0,02648	0,61111	-0,09653	0,06402

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	2,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,37882	0,75904	0,15054	0,38022	0,43606
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,86779	5,50796	0,15054	1,64017	4,11469
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,19339	0,27540	0,15054	0,08201	0,20574
1/q σ_{z2}	0,07933	0,26278	0,15054	0,18345	0,10695
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,14159	0,44710	0,15054	0,30551	0,18758
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07079	0,22355	0,15054	0,15276	0,09379

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	20,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,35716	0,68947	0,15054	0,33231	0,40718
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,13976	6,48948	0,15054	2,34972	4,49348
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20699	0,32447	0,15054	0,11748	0,22467
1/q σ_{z2}	0,01888	0,06741	0,15054	0,04853	0,02619
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,29072	0,98565	0,15054	0,69493	0,39533
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01454	0,04928	0,15054	0,03474	0,01977

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,43606	0,40718	0,61111	-0,02887	0,41841
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,11469	4,49348	0,61111	0,37878	4,34617
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,20574	0,22467	0,61111	0,01894	0,21731
1/q σ_{z2}	0,10695	0,02619	0,61111	-0,08076	0,05759
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,18758	0,39533	0,61111	0,20775	0,31454
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09379	0,01977	0,61111	-0,07402	0,04855

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		3,84615	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,79727	0,41841	0,10256	-0,37886	0,75841
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,81703	4,34617	0,10256	3,52914	1,17900
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,40769	0,21731	0,10256	-0,19038	0,38816
1/q σ_{z2}	0,07519	0,05759	0,10256	-0,01759	0,07338
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,41381	0,31454	0,10256	-0,09927	0,40363
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,06402	0,04855	0,10256	-0,01547	0,06243

Résultats finals pour l'aire de stationnement					
Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,20079		3,84615	13,00000	0,46021

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultats
1/q σ_{z1}	0,87155	0,75841	0,60629	-0,11313	0,80295
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	1,01316	1,17900	0,60629	0,16584	1,11370
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,16087	0,38816	0,60629	0,22729	0,29867
1/q σ_{z2}	0,09000	0,07338	0,60629	-0,01662	0,07992
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,42115	0,40363	0,60629	-0,01752	0,41053
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,07637	0,06243	0,60629	-0,01393	0,06792

q (Mpa)	1,44000
Contraintes	Valeurs (Mpa)
σ_{z1}	1,15625438
σ_{r1}	-0,4474793
σ_{r2}	0,72616292
σ_{z2}	0,11509164
σ'_{r2}	-0,4760716
σ_{r3}	0,01728763

IV.1/ Calcul des contraintes pour la chaussée d'extention

Paramètres	H		K_1	K_2	A_1
Chaussée d'extension					
Paramètres	0,12500		2,00000	2,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,78024	0,68044	0,86445	-0,09980	0,69397
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,97956	0,79970	0,86445	-0,17986	0,82408
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,43980	0,35488	0,86445	-0,08492	0,36639
$1/q\sigma_{z2}$	0,03403	0,12667	0,86445	0,09264	0,11411
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,06647	0,23531	0,86445	0,16884	0,21242
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,03324	0,11766	0,86445	0,08442	0,10622

Paramètres	H		K_1	K_2	A_1
Paramètres	0,12500		2,00000	20,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
$1/q\sigma_{z1}$	0,76414	0,97493	0,86445	0,21079	0,94636
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r1})$	0,92036	0,46583	0,86445	-0,45453	0,52744
$1/q(\sigma_{z1}-\sigma_{r2})$	0,46048	0,23297	0,86445	-0,22751	0,26381
$1/q\sigma_{z2}$	0,00809	0,03392	0,86445	0,02583	0,03042
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma'_{r2})$	0,13541	0,49523	0,86445	0,35982	0,44646
$1/q(\sigma_{z2}-\sigma_{r3})$	0,00677	0,02476	0,86445	0,01799	0,02232

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		2,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,69397	0,94636	0,44444	0,25239	0,80614
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,82408	0,52744	0,44444	-0,29664	0,69224
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,36639	0,03042	0,44444	-0,33597	0,21707
1/q σ_{z2}	0,11411	0,03042	0,44444	-0,08369	0,07692
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,21242	0,44646	0,44444	0,23403	0,31644
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,10622	0,02232	0,44444	-0,08390	0,06893

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	2,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,38799	0,78651	0,86445	0,39852	0,73249
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,76886	5,16717	0,86445	1,39831	4,97763
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,18844	0,25836	0,86445	0,06992	0,24888
1/q σ_{z2}	0,03170	0,11650	0,86445	0,08480	0,10501
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,06003	0,21640	0,86445	0,15637	0,19520
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,03002	0,10820	0,86445	0,07818	0,09760

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	20,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,38469	0,77394	0,86445	0,38925	0,72118
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,74573	5,05409	0,86445	1,30836	4,87674
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,18729	0,25274	0,86445	0,06545	0,24387
1/q σ_{z2}	0,00716	0,02710	0,86445	0,01994	0,02440
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,11697	0,43263	0,86445	0,31566	0,38984
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,00585	0,02163	0,86445	0,01578	0,01949

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		20,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,73249	0,72118	0,44444	-0,01131	0,72746
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	4,97763	4,87674	0,44444	-0,10089	4,93279
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,24888	0,24387	0,44444	-0,00501	0,24665
1/q σ_{z2}	0,10501	0,02440	0,44444	-0,08061	0,06918
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,19520	0,38984	0,44444	0,19464	0,28171
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,09760	0,01949	0,44444	-0,07811	0,06289

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,12500		5,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,80614	0,72746	0,16667	-0,07868	0,79303
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,69224	4,93279	0,16667	4,24055	1,39900
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,21707	0,24665	0,16667	0,02958	0,22200
1/q σ_{z2}	0,07692	0,06918	0,16667	-0,00774	0,07563
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,31644	0,28171	0,16667	-0,03473	0,31065
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,06893	0,06289	0,16667	-0,00604	0,06792

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Chaussée d'extension					
Paramètres	0,25000		2,00000	2,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,42809	0,77930	0,86445	0,35121	0,73169
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,70225	0,96634	0,86445	0,26409	0,93054
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,35112	0,48317	0,86445	0,13205	0,46527
1/q σ_{z2}	0,02783	0,10306	0,86445	0,07523	0,09286
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,05278	0,19178	0,86445	0,13900	0,17294
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,02639	0,09589	0,86445	0,06950	0,08647

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	20,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,42462	0,76647	0,86445	0,34185	0,72013
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,67115	0,84462	0,86445	0,17347	0,82111
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,33557	0,42231	0,86445	0,08674	0,41055
1/q σ_{z2}	0,00706	0,02697	0,86445	0,01991	0,02427
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,10710	0,39919	0,86445	0,29209	0,35960
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,00536	0,01996	0,86445	0,01460	0,01798

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		2,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,73169	0,72013	0,44444	-0,01156	0,72655
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,93054	0,82111	0,44444	-0,10944	0,88190
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,46527	0,41055	0,44444	-0,05472	0,44095
1/q σ_{z2}	0,09286	0,02427	0,44444	-0,06859	0,06238
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,17294	0,35960	0,44444	0,18666	0,25590
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,08647	0,01798	0,44444	-0,06849	0,05603

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	2,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,14282	0,37882	0,86445	0,23600	0,34683
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	1,83766	3,86779	0,86445	2,03013	3,59260
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,09188	0,19339	0,86445	0,10151	0,17963
1/q σ_{z2}	0,02091	0,07933	0,86445	0,05842	0,07141
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,03781	0,14159	0,86445	0,10378	0,12752
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,01891	0,07079	0,86445	0,05188	0,06376

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	20,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,13708	0,35716	0,86445	0,22008	0,32733
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	1,90693	4,13976	0,86445	2,23283	3,83710
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,09535	0,20699	0,86445	0,11164	0,19186
1/q σ_{z2}	0,00488	0,01888	0,86445	0,01400	0,01698
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,07623	0,29072	0,86445	0,21449	0,26165
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,00381	0,01454	0,86445	0,01073	0,01309

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		20,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,34683	0,32733	0,44444	-0,01950	0,33816
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	3,59260	3,83710	0,44444	0,24449	3,70127
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,17963	0,19186	0,44444	0,01223	0,18506
1/q σ_{z2}	0,07141	0,01698	0,44444	-0,05443	0,04722
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,12752	0,26165	0,44444	0,13412	0,18713
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,06376	0,01309	0,44444	-0,05067	0,04124

Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,25000		5,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultat
1/q σ_{z1}	0,72655	0,33816	0,16667	-0,38839	0,66182
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	0,88190	3,70127	0,16667	2,81936	1,35180
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,44095	0,18506	0,16667	-0,25589	0,39830
1/q σ_{z2}	0,06238	0,04722	0,16667	-0,01516	0,05985
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,25590	0,18713	0,16667	-0,06876	0,24444
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,05603	0,04124	0,16667	-0,01479	0,05356

Résultats finals pour la chaussée d'extension					
Paramètres	H		K ₁	K ₂	A ₁
Paramètres	0,16269		5,00000	10,00000	0,37289

	Vh	Vb	$\alpha=(a-vb)/(vh-vb)$	(Vb-Vh)	Résultats
1/q σ_{z1}	0,79303	0,66182	0,30150	-0,13121	0,75347
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r1}$)	1,39900	1,35180	0,30150	-0,04720	1,38477
1/q($\sigma_{z1}-\sigma_{r2}$)	0,22200	0,39830	0,30150	0,17630	0,27516
1/q σ_{z2}	0,07563	0,05985	0,30150	-0,01577	0,07087
1/q($\sigma_{z2}-\sigma'_{r2}$)	0,31065	0,24444	0,30150	-0,06621	0,29069
1/q($\sigma_{z2}-\sigma_{r3}$)	0,06792	0,05356	0,30150	-0,01436	0,06359

q (Mpa)	1,44000
Contraintes	Valeurs (Mpa)
σ_{z1}	1,08499635
σ_{r1}	-0,9090694
σ_{r2}	0,68877238
σ_{z2}	0,10205269
σ'_{r2}	-0,3165362
σ_{r3}	0,01047778

ANNEXE E:
ANNEXE E:
TABLEAUX ET ABAQUES

ANNEXE D **EXTRAIT DES TABLEAUX DE JONES**

$H = 0.125$

$k_1 = 20.0$

z_1	$\frac{1}{q} \sigma_{z_1}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_1} - r_1)$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_1} - r_2)$	$\frac{1}{q} \sigma_{z_2}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_2} - r_2)$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_2} - r_3)$
						$k_2 = 0.2$
0.1	0.14648	1.86305	0.05040	0.02645	0.00322	0.01611
0.2	0.39260	5.75410	0.16772	0.06407	0.01249	0.06244
0.4	0.80302	5.11347	0.25592	0.03135	0.04421	0.12105
0.8	1.06594	3.33600	0.16030	0.64741	0.11463	0.57342
1.6	1.02042	1.81603	0.00080	1.00011	0.13587	0.68436
3.2	0.90217	1.75101	0.03756	0.97317	0.07578	0.37890

$k_2 = 2.0$

0.1	0.14500	1.81175	0.05030	0.02310	0.01542	0.00771
0.2	0.38799	5.75588	0.16814	0.03120	0.06003	0.03002
0.4	0.78651	5.16717	0.25136	0.11650	0.21640	0.10820
0.8	1.07213	3.43631	0.17182	0.34941	0.00493	0.30247
1.6	0.00060	1.15211	0.05751	0.64011	0.97146	0.46573
3.2	0.99703	0.00004	0.00345	0.03187	0.98358	0.44179

$k_2 = 20.0$

0.1	0.14447	1.80602	0.05033	0.02182	0.01535	0.00149
0.2	0.38460	5.74573	0.16729	0.00716	0.11697	0.05855
0.4	0.77396	5.05460	0.25374	0.02710	0.43263	0.02163
0.8	0.93610	1.92533	0.14617	0.09001	1.33730	0.06687
1.6	0.93712	1.27003	0.06355	0.24526	0.93215	0.14961
3.2	0.96330	7.35381	0.36761	0.55490	5.00489	0.25324

$k_2 = 200.0$

0.1	0.14322	1.78941	0.08947	0.00033	0.04010	0.00020
0.2	0.38388	5.68097	0.16405	0.00131	0.15731	0.00079
0.4	0.77131	4.80711	0.24036	0.00505	0.58301	0.00297
0.8	0.97701	1.00375	0.09341	0.01350	1.05709	0.00979
1.6	0.91645	5.26803	0.26440	0.06007	5.45110	0.01626
3.2	0.92602	21.52546	1.07627	0.16395	12.45058	0.06225

H = 0.25

 $k_1 = 2.0$

a_1	$\frac{1}{q} \sigma_{x1}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x1} - \sigma_{r1})$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x1} - \sigma_{r2})$	$\frac{1}{q} \sigma_{x2}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x2} - \sigma_{r2})$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x2} - \sigma_{r1})$
						$k_2 = 0.2$
0.1	0.15577	0.28638	0.14329	0.01348	0.00277	0.01384
0.2	0.43310	0.72176	0.36638	0.05259	0.01075	0.05377
0.4	0.79551	1.03476	0.51738	0.10094	0.03842	0.19211
0.8	1.00371	0.83833	0.44416	0.54579	0.10337	0.51637
1.6	1.02425	0.66436	0.23219	0.90563	0.14102	0.70510
3.2	0.69617	0.41559	0.20773	0.43918	0.09304	0.49020

 $k_2 = 2.0$

0.1	0.15520	0.28362	0.14181	0.00710	0.01353	0.00677
0.2	0.42809	0.70225	0.35112	0.02783	0.05278	0.02639
0.4	0.77939	0.96634	0.48317	0.10306	0.10178	0.09589
0.8	0.00703	0.66885	0.33442	0.31771	0.55211	0.27607
1.6	0.98156	0.17331	0.03665	0.60753	0.05080	0.47540
3.2	0.09520	0.05601	0.02846	0.02708	0.06790	0.44695

 $k_2 = 20.0$

0.1	0.15436	0.27520	0.13790	0.00170	0.02722	0.00136
0.2	0.42462	0.57115	0.31537	0.00706	0.10710	0.00536
0.4	0.76647	0.32111	0.42231	0.02697	0.39919	0.01996
0.8	0.92757	0.21981	0.10276	0.09285	1.28565	0.06328
1.6	0.01393	1.22211	0.61201	0.12151	2.04080	0.14743
3.2	0.95243	3.04320	1.52100	0.00754	4.09378	0.24404

 $k_2 = 200.0$

0.1	0.15414	0.26776	0.13388	0.00036	0.03814	0.00019
0.2	0.42369	0.63753	0.31917	0.00143	0.15940	0.00075
0.4	0.76296	0.71020	0.35810	0.00557	0.57046	0.00285
0.8	0.91600	0.23150	0.14125	0.02064	1.92636	0.00963
1.6	0.88406	3.09356	1.54028	0.07014	5.35036	0.02680
3.2	0.89712	9.18214	4.50107	0.21692	12.64318	0.06322

$$H = 0,25$$

$$k_1 = 20.0$$

a_1	$\frac{1}{q} \sigma_{x_1}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x_1} - \sigma_{r_1})$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x_1} - \sigma_{r_1})$	$\frac{1}{q} \sigma_{x_2}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x_2} - \sigma_{r_2})$	$\frac{1}{q} (\sigma_{x_2} - \sigma_{r_2})$
						$k_2 = 0.2$
0.1	0.04506	0.61250	0.03072	0.01107	0.00202	0.01011
0.2	0.15120	1.79675	0.08314	0.04357	0.00793	0.03964
0.4	0.21030	3.50050	0.17983	0.10337	0.02931	0.14653
0.8	0.35464	4.58345	0.24942	0.51644	0.08771	0.43854
1.6	1.22013	2.31165	0.11553	1.01061	0.14039	0.70194
3.2	0.99676	1.21115	0.06221	0.99169	0.07537	0.37934

$$k_2 = 2.0$$

0.1	0.04381	0.63215	0.03162	0.00530	0.00962	0.00481
0.2	0.14282	1.83706	0.09158	0.02091	0.03761	0.01891
0.4	0.37482	3.86779	0.19339	0.07933	0.14159	0.07079
0.8	0.75904	5.50766	0.27540	0.26278	0.44710	0.22355
1.6	0.98743	4.24281	0.21213	0.61675	0.90115	0.45058
3.2	1.00000	1.97494	0.09876	0.91253	0.93254	0.46627

$$k_2 = 20.0$$

0.1	0.04236	0.65003	0.03250	0.00123	0.01930	0.00000
0.2	0.13708	1.90693	0.09535	0.00488	0.07623	0.00382
0.4	0.35716	4.13976	0.20699	0.01880	0.29072	0.01454
0.8	0.68947	4.48943	0.32447	0.06741	0.98565	0.05928
1.6	0.85400	6.05639	0.34752	0.20115	1.55231	0.12762
3.2	0.90345	6.05854	0.30393	0.48647	4.76234	0.23813

$$k_2 = 200.0$$

0.1	0.04204	0.65732	0.03287	0.00024	0.02711	0.00014
0.2	0.13584	1.93764	0.09683	0.00095	0.10741	0.00054
0.4	0.35237	4.26004	0.21300	0.00372	0.41459	0.00107
0.8	0.67286	5.94371	0.34743	0.01399	1.45047	0.00735
1.6	0.81223	3.55770	0.42789	0.04836	4.36521	0.02101
3.2	0.82390	11.63614	0.53181	0.15273	10.93570	0.05466

$$H = 0.5$$

$$k_1 = 2.0$$

$$a_1 \quad \frac{1}{q} \sigma_{x_1} \quad \frac{1}{q} (\sigma_{x_1} - \sigma_{r_1}) \quad \frac{1}{q} (\sigma_{x_1} - \sigma_{r_2}) \quad \frac{1}{q} \sigma_{x_2} \quad \frac{1}{q} (\sigma_{x_2} - \sigma_{r_2}) \quad \frac{1}{q} (\sigma_{x_2} - \sigma_{r_3})$$

$$k_2 = 0.2$$

0.1	0.04426	0.03398	0.04199	0.00903	0.00131	0.00906
0.2	0.15073	0.38904	0.10452	0.03551	0.00711	0.03554
0.4	0.44523	0.72313	0.30156	0.13310	0.02634	0.13172
0.8	0.33298	1.03603	0.51802	0.21601	0.07992	0.39952
1.6	1.05462	0.83475	0.41737	0.35521	0.13073	0.69265
3.2	0.99967	0.25119	0.20560	0.94500	0.10007	0.53335

$$k_2 = 2.0$$

0.1	0.04330	0.08250	0.04125	0.00455	0.00373	0.00439
0.2	0.15325	0.26318	0.10159	0.01316	0.03454	0.01727
0.4	0.42077	0.70119	0.35000	0.06972	0.12951	0.06477
0.8	0.75623	0.06681	0.40341	0.23256	0.41187	0.20524
1.6	0.93447	0.70726	0.35363	0.56208	0.35930	0.42965
3.2	0.03001	0.33878	0.16939	0.38657	0.06353	0.43176

$$k_2 = 20.0$$

0.1	0.04193	0.08044	0.04022	0.00117	0.01778	0.00089
0.2	0.14808	0.27574	0.13737	0.00464	0.07027	0.00351
0.4	0.40086	0.67174	0.53587	0.01708	0.20217	0.01341
0.8	0.69098	0.36191	0.43005	0.06476	0.91108	0.04553
1.6	0.70333	0.39588	0.10704	0.19803	2.3817	0.11919
3.2	0.35940	0.41078	0.20539	0.49232	4.77022	0.22351

$$k_2 = 200.0$$

0.1	0.04160	0.07864	0.03931	0.00024	0.03515	0.00013
0.2	0.14675	0.26853	0.13426	0.00095	0.09965	0.00050
0.4	0.39570	0.54303	0.32152	0.00371	0.38197	0.00192
0.8	0.67257	0.74947	0.37474	0.01416	1.36706	0.00684
1.6	0.74106	0.02761	0.01381	0.04971	4.00937	0.02045
3.2	0.75176	1.33545	0.94273	0.15900	10.25631	0.05103

$$H = 0.5$$

$$k_1 = 20.0$$

r_1	$\frac{1}{q} \sigma_{z_1}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_1} - \sigma_{z_1'})$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_1} - \sigma_{z_2'})$	$\frac{1}{q} \sigma_{z_2}$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_2} - \sigma_{z_2'})$	$\frac{1}{q} (\sigma_{z_2} - \sigma_{z_1'})$
						$k_2 = 0.2$
0.1	0.001351	0.17520	0.00320	0.00596	0.00708	0.00403
0.2	0.05079	0.52013	0.01906	0.02361	0.00386	0.01029
0.4	0.16072	1.60720	0.03337	0.00113	0.01474	0.07369
0.8	0.47191	3.23121	0.10158	0.31004	0.04987	0.24834
1.6	0.97452	3.51853	0.17743	0.82609	0.11279	0.56395
3.2	1.09911	1.27334	0.05167	1.03304	0.09527	0.47637

$$k_2 = 2.0$$

0.1	0.01122	0.17097	0.00000	0.00239	0.00440	0.00220
0.2	0.04172	0.64179	0.03232	0.01028	0.01741	0.00872
0.4	0.13180	1.89817	0.09601	0.03998	0.06723	0.03361
0.8	0.35175	4.00590	0.20000	0.14419	0.23470	0.11733
1.6	0.70221	6.00002	0.31100	0.40106	0.32046	0.31013
3.2	0.97420	5.41828	0.27001	0.82253	0.03331	0.46916

$$k_2 = 20.0$$

0.1	0.00000	0.19870	0.00000	0.00063	0.00911	0.00046
0.2	0.03663	0.72204	0.03613	0.002516	0.036208	0.001817
0.4	0.11448	1.195206	0.105786	0.005886	0.111188	0.007086
0.8	0.27934	5.24726	0.26230	0.03731	0.11585	0.02579
1.6	0.50790	10.30212	0.51811	0.1205	1.55341	0.07967
3.2	0.70903	16.36320	0.81920	0.25207	3.69409	0.13455

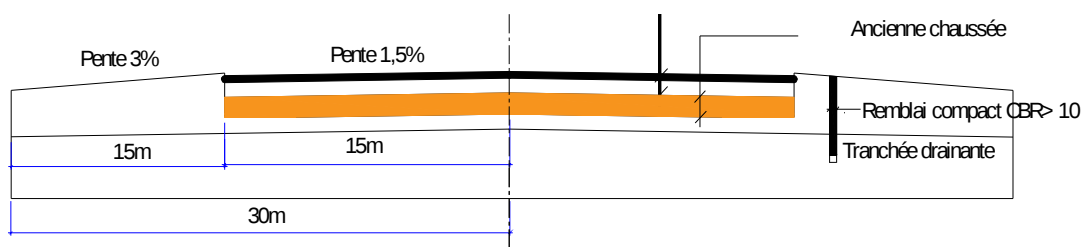
$$k_2 = 200.0$$

0.1	0.00000	0.21440	0.01072	0.00013	0.01355	0.00007
0.2	0.03926	0.78493	0.03925	0.00054	0.05395	0.00027
0.4	0.10079	2.44439	0.12201	0.00214	0.01195	0.00106
0.8	0.26149	6.23424	0.31172	0.00331	0.79588	0.00398
1.6	0.45078	14.11490	0.70574	0.03070	2.07578	0.01333
3.2	0.57074	29.05815	1.48791	0.10470	7.01457	0.03807

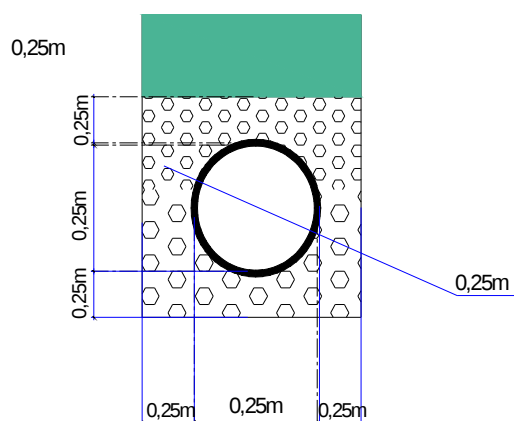
ANNEXE F:
ANNEXE F:
PLANS
PLANS

ANNEXE F

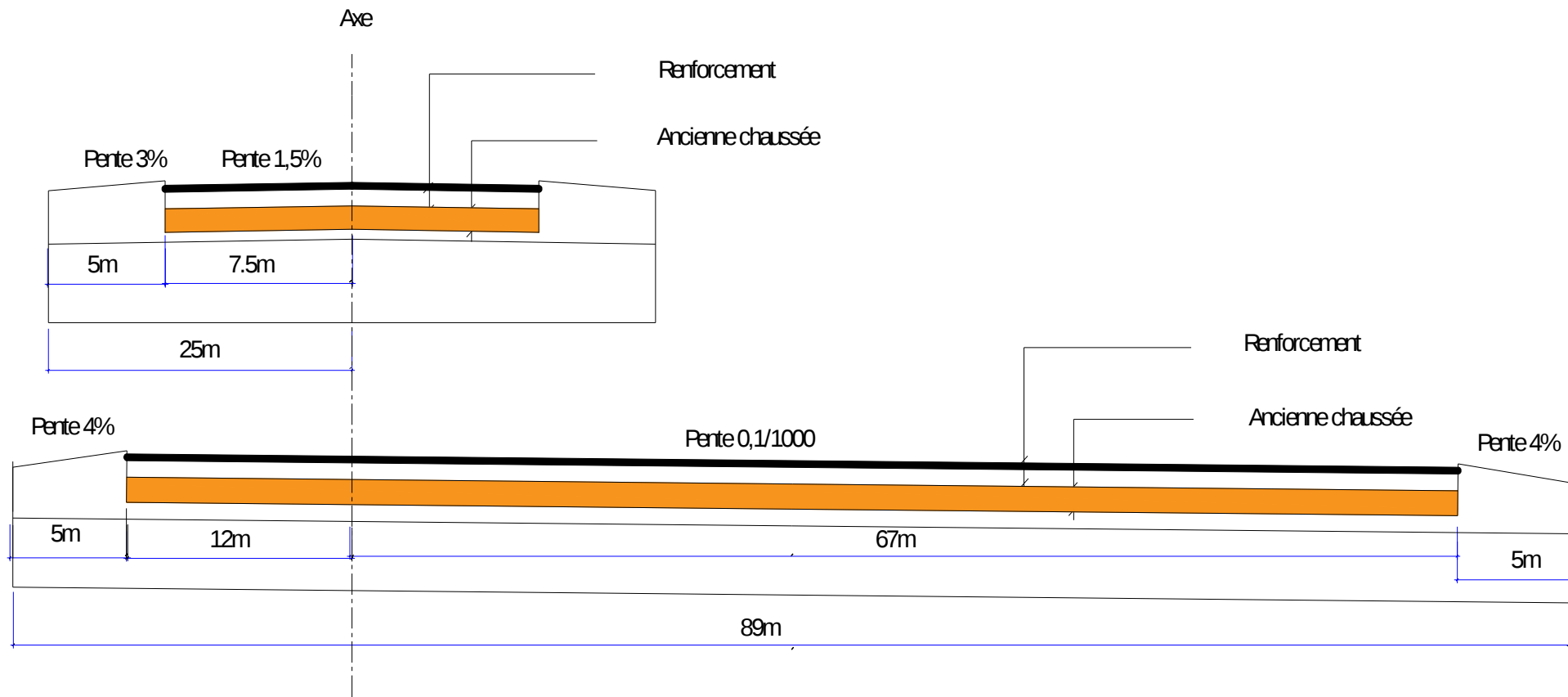
PLANS



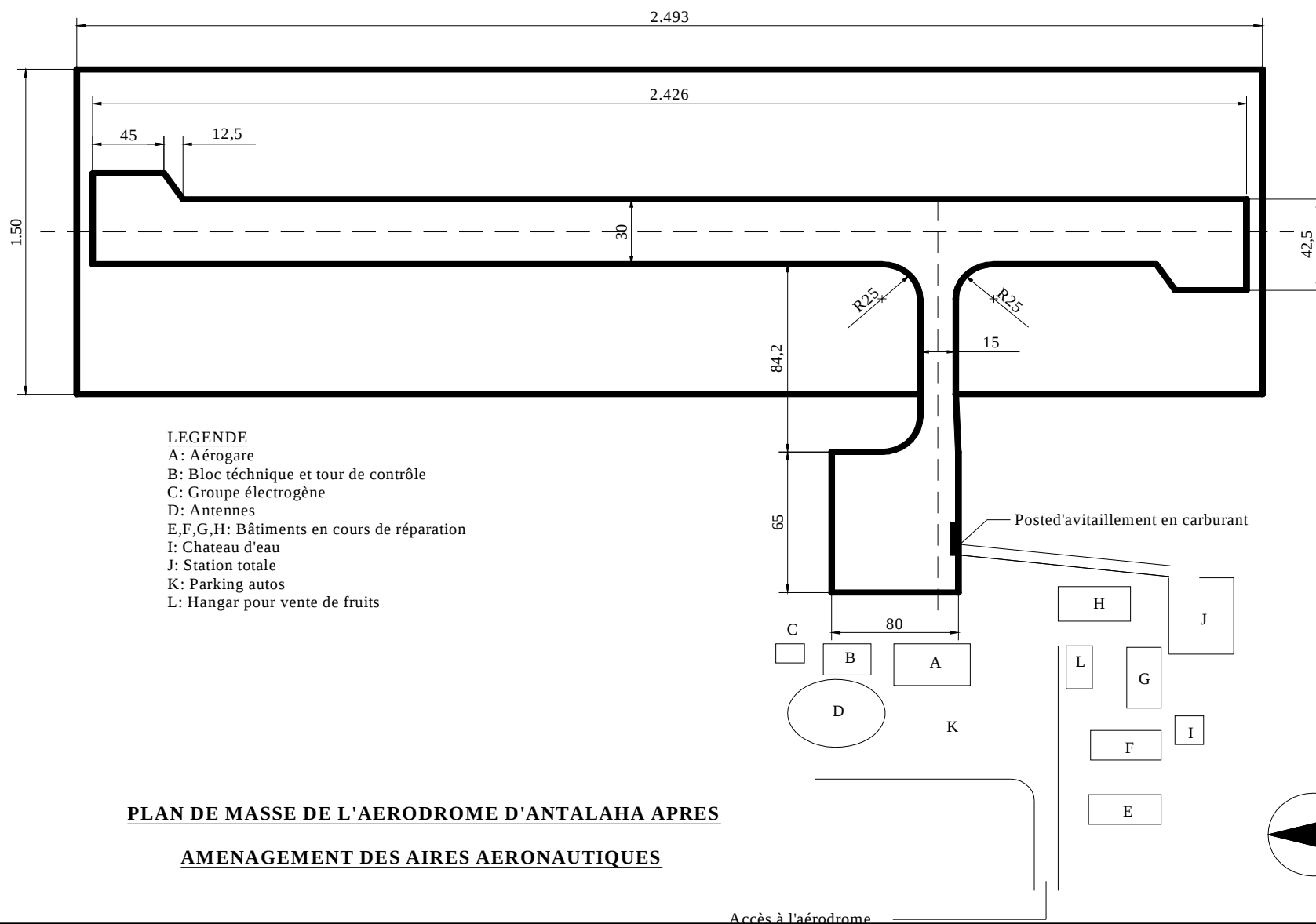
PROFIL EN TRAVERS DE LA PISTE PRINCIPALE



COUPE TRANSVERSALE DES DRAINS



PROFILS EN TRAVERS DE LA BRETELLE ET DE L'AIRE DE STATIONNEMENT
APRES RENFORCEMENT



**PLAN DE MASSE DE L'AERODROME D'ANTALAHA APRES
AMENAGEMENT DES AIRES AERONAUTIQUES**

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

INTRODUCTION.....1

PARTIE I : GENERALITES3

Chapitre I : NOTION ELEMENTAIRE ET THEORIQUE D'UN AERODROME3

I.1/ PRESENTATION INTRODUCTIVE D'UN AERODROME3

I.1.1 / Définitions.....3

- a) **Aérodrome**3
- b) **Aéroport**3
- c) **Aérogare**3
- d) **Aéronef**3

I.2/ ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AERODROME.....3

I.2.1/ L'aire de mouvement.....4

- a) **Aire de manœuvre**4
- b) **Aire de trafic**4
- c) **Bretelle**.....4

I.2.2/ Les zones d'installation4

- a) **La zone d'exploitation**.....4
- b) **La zone d'activité industrielle**5
- c) **Zones spécialisées**.....5
- d) **Autres installations**.....5

I.3/ DEGAGEMENTS ET SERVITUDES AERONAUTIQUES.....5

I.3.1/ Surface conique5

I.3.2/ Surface horizontale intérieure6

I.3.3/ Surface d'approche.....6

I.3.4/ Surface de transition.....6

I.3.5/ Surface de montée au décollage.....6

I.3.6/ Spécification en matière de limitation d'obstacle6

I.3.7/ Règles de dégagement.....10

I.4/ NOTION DE PISTE10

I.4.1/ Définition10

I.4.2/ Les caractéristiques d'une piste.....10

- a) **Les différents types de piste**.....10
- b) **Longueur réelle des pistes**.....11
- c) **Largeur d'une piste**11
- d) **Pente d'une piste**.....12
- e) **Changement de pente longitudinale**.....12

I.5/ NOTION DE BANDE DE PISTE.....13

I.5.1/ Généralité13

I.5.2/ Longueur de la bande de piste14

I.5.3 Largeur de la bande14

- a) **Largeur de la bande selon le chiffre de code**.....14

I.6/ CLASSIFICATION DES AERODROMES15

I.6.1/ Généralité15

I.6.2/ Les différents types de classification15

- a) **Classification du code de l'aviation civile ou la réglementation française** 16
- b) **Classification de l' O.A.C.I**17

c) Classification basée sur les dimensions de l'aire d'atterrissage	17
d) Classification des aérodromes à MADAGASIKARA.....	17
Chapitre II : L' AERODROME D'ANTALAHA ET SON ENVIRONNEMENT ...	19
II.1/ LA COMMUNE URBAINE D'ANTALAHA.....	19
II.2/ ZONE D'INFLUENCE DE L'AERODROME D'ANTALAHA	19
II.3/ ETUDE SOCIO ECONOMIQUE DE LA ZONE D'INFLUENCE	20
II.3.1/ Population et démographie.....	20
a) Présentation de la population	20
b) Urbanisation.....	20
c) Niveau d'instruction de la population	20
II.3.2/ Potentialité local	21
a) Route et transport.....	21
b) Sécurité et santé publique	22
c) Information et télécommunication.....	23
d) Elevage et agriculture.....	23
e) Perspective du secteur tourisme.....	26
II-3-6 Aperçu géologique et climatique	27
a) Aperçu géologique	27
b) Aperçu climatique	27
II.4/ DESCRIPTION DE L'AERODROME D'ANTALAHA.....	29
II.4.1/ Localisation	29
II.4.2/ Historique de l'aérodrome d'ANTALAHA	29
II.4.3/ Caractéristiques de la piste.....	30
II.4.4/ Les installations terminales	30
II.4.5/ L'aire de mouvement de l'aérodrome d'ANTSIRABATO	31
a) Les seuils.....	31
b) Les raquettes	31
c) La bretelle.....	31
d) L'aire de stationnement	32
II.5/ SITUATION DE TRAFICS – FRETS – PASSAGERS	32
II.5.1/ Mouvement annuel des avions	32
II.5.2/ Flux annuel de passagers	33
II.5.3/ Masse annuelle de fret.....	35
II.5.3/ PREVISION DE TRAFICS – FRETS – PASSAGERS	36
a) Prévision de trafic.....	37
b) Prévision de passagers.....	37
c) Prévision de fret en tonnes.....	37
CONCLUSION PARTIELLE	38
PARTIE II : ETUDES TECHNIQUES.....	39
Chapitre III : ETATS DES LIEUX	39
III.1/ GENERALITE.....	39
III.2/ DEGRADATION RELEVES.....	39
III.1 1/ Auscultations visuelles.....	39
III.3/ MESURE DE DEFLEXION	40
III.3.1/ Rappel théorique.....	40
III.3.2/ Résultats.....	41
III.3.3/ Interprétation des résultats de déflexion	44
a) Piste	44
b) Bretelle et aire de stationnement.....	44
III.4/ ETUDE GEOTECHNIQUE	45

III.4.1/ Généralité	45
III.4. 2/ Sondage sous chaussée.....	45
a) Aire de mouvement.....	45
b) Zone d'extension.....	46
c) Nappe phréatique	46
III.4.3/ Essais in situ	49
III.4.4/Essais au laboratoire.....	50
a) Sol de plate forme	50
b) Couche de fondation.....	51
c) Zone d'extension.....	52
Conclusion partielle.....	53
III.5/ RECONNAISSANCE ET CARATERISTIQUE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION	54
III.5.1/ Critères géotechnique des matériaux.....	54
a) Matériaux meubles	54
b) Matériaux rocheux	54
III.5.2 /Découverte des matériaux meubles et rocheux.....	55
a) Matériaux d'emprunt.....	55
b) Gîte pour couche de fondation	55
c) Gisement rocheux	56
Chapitre IV : DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	57
IV-1/ GENERALITE.....	57
IV.2/ NOTION DE CHAUSSEE	58
IV.2.1/ Définition	58
IV.2.3/ Les types de structure de chaussée	59
a) Structure souple.....	59
b) Structure semi rigide	59
c) Structure rigide.....	59
IV.2.3/ Notion d'une épaisseur de la chaussée	59
a) Notion d'épaisseur équivalente / coefficient d'équivalence	59
b) Epaisseur d'une chaussée.....	61
c) Mode de fonctionnement des différentes couches.....	62
IV.3/ CARACTERISTIQUES DES AERONEFS ET DU TRAFIC QUI INFLUENT AU DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	64
IV.3.1/ Généralité.....	64
a) Comportement des pneumatiques sous l'effet des charges verticales	64
b) Comportement des pneumatiques sous l'effet des efforts de cisaillement	64
IV.3.2/ Notion d' atterrisseur.....	65
a) Définition de terme	65
b) Atterrisseurs types.....	66
c) Importance des charges	69
IV.4/ ETUDE DE VARIANTE	70
IV.4.1/ Proposition des variantes.....	70
IV.4.2/ Choix d'une variante	71
IV.4.3/ Choix de la structure	71
IV.5/ PROPOSITION DE METHODE DE DIMENSIONNEMENT	72
IV.5.1/ Méthode forfaitaire ou méthode CBR.....	73
a) La formule de Boyd et Foster	74
b) Influence de la couche de forme	75

c) Détermination de la roue simple équivalente R.S.E par la méthode de Boyd et Foster	75
IV.5.2/ Méthode optimisée	77
IV.5.3/ Choix de la méthode.....	77
IV.6/ DETRMINATION DE LA RSE ET DE L'EPAISSEUR EQUIVALENTE ...	78
IV.6.1/ Hypothèses de calcul	78
a) Calcul de l'air de contact des roues : A	79
IV.6.2/ Calcul de la RSE.....	79
a) Piste principale.....	79
b) Aire de stationnement	80
c) Bretelle.....	81
d) accotement.....	81
IV.6.3/ Epaisseur équivalente nécessaire.....	82
a) Piste principale.....	82
b) Bretelle.....	83
c) Aire de stationnement	83
d) Accotement.....	83
IV.6.4/Epaisseur équivalente de renforcement.....	84
a) Zone homogène	84
b) Epaisseur équivalente de la chaussée existante.....	85
IV.6.5/ Epaisseur nécessaire de renforcement	86
a) Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire de renforcement h_{renf}	86
c) Structure de renforcement et nouvelle structure proposée	87
IV.6.6/ Etude de structure de rallongement.....	88
IV.6.7/ Structure de rallongement proposée	89
Chapitre V : VERIFICATION DE CONTRAINTE.....	90
V.1/ INTRODUCTION	90
V.1.1/ Methode de Jones et Peates	90
a) Hypothèse de base.....	90
b) Description de la méthode.....	91
c) Les paramètres de calcul.....	91
d) Interprétation des résultats	93
V.1.2/ Méthode ACN-PCN.....	93
a) Introduction	93
b) Définition des termes.....	93
c) Justification de l'utilisation de la méthode ACN-PCN	94
d) Application de la méthode approchée pour le calcul de PCN	94
e) Catégorie de résistance du terrain de fondation.....	95
f) Calcul de l'ACN par la méthode approchée	96
V.1.3/ Détermination pratique de ACN-PCN	98
V.1.3/ Calcul de charge admissible : P_{ta}	98
V.2/ DIMENSIONNEMENT DE LONGUEUR DE PISTE	100
V.2.1/ Méthode de détermination de la longueur de piste	100
V.2.2/ Détermination des coefficients de correction	100
a) Coefficient de correction d'altitude : n_1	100
b) coefficient de correction de température : n_2	101
c) Coefficient de correction de pente : n_3	101
V.2.3/ Calcul de la longueur réelle de la piste pour la réception de B737-400	101
a) Les données de calcul de n_i	102
b) Les coefficients de correction.....	102

c) La longueur nécessaire : $L_{néc}$	102
Chapitre VI : ASSAINISSEMENT	103
VI.1/ GENERALITE	103
VI.2/ ETAT DES LIEUX	103
VI.3/ PROPOSITION D'AMENAGEMENT	103
VI.4/ METHODE DE DIMENSIONNEMENT	104
VI.4.1/ Le débit nécessaire à évacuer	104
VI.4.2/ Le tuyau de drainage	104
VI.5/ DIMENSIONNEMENT	105
VI.5.1/ Calcul du débit nécessaire à évacuer	105
VI.5.2/ Calculs hydrauliques du tuyau de drainage	105
Conclusion partielle	106
PARTIE III : ETUDES ECONOMIQUES	107
Chapitre VII : EVALUATION DU COUT DES TRAVAUX	107
VII.1/ INTRODUCTION	107
VII.2/ DEVIS DESCRIPTIF	107
VII.3/ DEVIS QUANTITATIF	108
VII.4/ BORDEREAU DE DETAILS ESTIMATIFS	108
Chapitre VIII : ETUDE DE RENTABILITE ECONOMIQUE	111
VIII.1/ VALEUR ACTUELLE NETTE (V.A.N)	111
VIII.2/ INDICE DE RENTABILITE	111
VIII.3/ TAUX DE RENTABILITE INTERNE (T.R.I)	112
VIII.4/ CALCUL PRATIQUE	112
CONCLUSION GENERALE	114
ANNEXES	

Auteur : MIANDRE Hosman Bien-aimé

Tel : 032 04 686 43

**Titre du mémoire : « RENFORCEMENT DES AIRES AERONAUTIQUES
ET RALLONGEMENT DE LA PISTE DE L'AERODROME
D'ANTALAHA POUR RECEVOIR UN BOEING 737-400. »**

Nombre de page : 115

Nombre de tableaux : 61

Nombre de figures : 29

RESUME

Le présent ouvrage consiste à l'étude de l'aménagement des infrastructures aéroportuaires d'ANTALAHA en vue de recevoir un Boeing 737-400, à savoir :

☞ **Redimensionnement de l'infrastructure existante :**

- **Renforcement et élargissement de la piste principale ;**
- **Renforcement de l'aire de stationnement ;**
- **Renforcement de la bretelle ;**
- **Renforcement des accotements.**

☞ **Rallongement de la piste principale pour permettre l'atterrissage du Boeing 737-400.**

La méthode de calcul utilisant le coefficient forfaitaire aboutit à une longueur totale nécessaire de 1 426m, soit un rallongement de 1 233m.

En appliquant la méthode ACN-PCN, on trouve la classe de cet aéroport où le PCN publiable est 35F/B/X/T.

Suite aux études financières du projet, le coût total des Travaux est évalué à Ar 6 173 157 696 y compris les TVA de 20%.

RUBRIQUE : BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Mots-clés : atterrisseur, boggie, bretelle, roue simple équivalente, décollage...

Rapporteur : ANDRIANIAINA Jean Germain.

Directeur technique de l'ADEMA.

Tél : 032 07 113 09