

SOMMAIRE

REMERCIEMENT	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES ABREVIATIONS	
INTRODUCTION	9
Partie I : GENERALITES ET ETUDES PRELIMINAIRES	11
Chapitre I : GENERALITES	12
Chapitre II : LA PISTE ET SES PERIPHERIQUES	28
Chapitre III : PRESENTATION GENERALE DU PROJET	46
Partie II : ANALYSE TECHNIQUE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS	70
Chapitre I : LES CHAUSSEES AERONAUTIQUES	71
Chapitre II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSES AERONAUTIQUES	81
Chapitre III : DIMENSIONNEMENT DU PROJET	107
Chapitre IV : RENFORCEMENT DE LA CHAUSSE	126
Chapitre V : PROLONGEMENT DE LA PISTE	145
Chapitre VI : ASSAINISSEMENT	164
Partie III : ETUDE ECONOMIQUE ET ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	172
Chapitre I : EVALUATION DU COUT DES TRAVAUX	173
Chapitre II : ETUDE DE RENTABILITE	190
Chapitre III : ETUDE D'IMPACTE ENVIRONNEMENTALE	204
CONCLUSION	219

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:Classification des avions en fonction de la vitesse indiquée au seuil (vat)	12
Tableau 2: Codes de référence de l'Aérodrome	16
Tableau 3: Caractéristiques géométriques d'une piste stipulées par l'ITAC.....	27
Tableau 4: Distance d en amont du seuil	29
Tableau 5:Caractéristiques géométriques des bandes de pistes.....	30
Tableau 6:Distance minimale du bord de bande composite à chaque piste	31
Tableau 7: Evolution de la population (source INSTAT).....	39
Tableau 8: Le taux de croissance économique	39
Tableau 9: Evolution du nombre de touristes à Madagascar entre 1992 à 2002.....	40
Tableau 10: Recettes en Devises au Titre du Tourisme en Millions de FMG de 1997 en 2002.....	40
Tableau 11: Répartition Moyenne de Visiteurs en % de 1997 à 2002.....	40
Tableau 12: Précipitation mensuelle de l'année 2010 en 1/10 de mm	41
Tableau 13: Température mensuelle de l'année 2010 en [°C]	41
Tableau 14: L'humidité relative, la pression et la tension de vapeur de l'année 2010	42
Tableau 15: La vitesse du vent et la température de l'aire.....	42
Tableau 16: Mouvements des avions de 1992 à 2002.....	48
Tableau 17: Flux des passagers entre 1992 à 2002.....	49
Tableau 18 : Quantités des frets annuels entre 1992 à 2002 en Tonne	50
Tableau 19: Mouvement des avions du réseau national entre 1992 à 2001	53
Tableau 20: Prévision des mouvements des avions de 2012 à 2032.....	54
Tableau 21: Mouvement des avions du réseau régional entre 1992 à 2001.....	54
Tableau 22: Mouvements des avions régionaux entre 2012 à 2032	54
Tableau 23: Mouvement des avions internationaux entre 1992 à 2001.....	54
Tableau 24: Mouvement des avions entre 2012 à 2032.....	55
Tableau 25: Trafics des mouvements des avions entre 2012 à 2032	55
Tableau 26: Trafic passagers nationaux	55
Tableau 27: Trafics passagers 2012 à 2032.....	55
Tableau 28: Trafics passagers régionaux entre 1992 à 2001	56
Tableau 29: Trafics passagers régionaux entre 2012 à 2032	56
Tableau 30: Trafics passagers internationaux entre 1992 à 2001	56
Tableau 31: Trafics passagers entre 2012 à 2032	56
Tableau 32: Trafics passagers entre 2012 à 2032	56
Tableau 33: Trafics frets nationaux en Tonne entre 1992 à 2001	57
Tableau 34: Trafics frets du réseau national en Tonne entre 2012 à 2032	57
Tableau 35: Trafics frets du réseau régional en Tonne entre 1992 à 2001	57
Tableau 36: Trafics frets du réseau régional en Tonne entre 2012 à 2032	57
Tableau 37: Trafics frets du réseau international en Tonne entre 1992 à 2001	58
Tableau 38: Trafics frets du réseau international en Tonne entre 2012 à 2032	58
Tableau 39: Trafics frets en Tonne entre 2012 à 2032	58
Tableau 40: Trafics totaux entre 2012 à 2032	58
Tableau 41: Les avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides.....	63
Tableau 42:Particularités des chaussées aéronautiques par rapport aux chaussées routières.....	65
Tableau 43: Localisation et condition d'emploi des joints des chaussées rigides	69
Tableau 44: Procédé algorithmique.....	72
Tableau 45: Coefficients d'équivalence des matériaux.....	74
Tableau 46: Coefficient de sécurité en fonction du type de joint.....	81
Tableau 47:Choix de la méthode de dimensionnement.....	87
Tableau 48: Codification du PCN.....	95
Tableau 49: Structure de la chaussée piste	98
Tableau 50: Structure de la chaussée de l'aire de stationnement.....	98
Tableau 51: Structure de la chaussée de la voie de circulation	99
Tableau 52: Valeurs des marges pour la raquette de retournement	107

Tableau 53: ACN due à l'atterrisseur principal carlingue.....	118
Tableau 54: ACN de l'atterrisseur principal sous l'aile.....	119
Tableau 55: Caractéristiques des chaussées souples de l'aérodrome.....	120
Tableau 56: Structure des chaussées souples après renforcement.....	129
Tableau 57: Structure de la chaussée rigide après renforcement.....	129
Tableau 58: Module d'élasticité.....	130
Tableau 59: Structure multicouche.....	131
Tableau 60: Structure tri couche équivalente.....	131
Tableau 61: Paramètres de calcul.....	132
Tableau 62: Résultats intermédiaires de la contrainte de renforcement.....	132
Tableau 63: Contraintes en MPa de la chaussée.....	132
Tableau 64: Valeurs de l'ACN en fonction des types d'avions et des masses.....	133
Tableau 65: PCN publiable des chaussées renforcées.....	134
Tableau 66: Mouvement des divers avions d'Ivato en 2010.....	137
Tableau 67: Caractéristiques techniques des avions.....	137
Tableau 68: Calcul des épaisseurs équivalentes nécessaires pour la piste.....	139
Tableau 69: Calcul du nombre de mouvement équivalent.....	140
Tableau 70: Calcul des épaisseurs équivalentes nécessaires pour les accotements.....	142
Tableau 71: Comparaison des atterrisseurs principales entre un B777-300ER et un A380-800.....	146
Tableau 72: Structure multicouche de la nouvelle chaussée.....	148
Tableau 73: Structure multicouche équivalente de la nouvelle chaussée.....	149
Tableau 74: Paramètre de calcul des contraintes de la nouvelle chaussée.....	149
Tableau 75: Résultat intermédiaire de la contrainte de la nouvelle chaussée.....	150
Tableau 76: Contrainte en MPa de la nouvelle chaussée.....	150
Tableau 77: Récapitulation de calcul de PCN de la nouvelle chaussée.....	153
Tableau 78: Nombres des drains, puisards et drains d'amenées.....	161
Tableau 79: Tableau quantitatif du Béton Bitumineux 0/14 pour renforcement.....	170
Tableau 80: Devis quantitatif du Cut-Back 0/1 pour renforcement.....	170
Tableau 81: Devis quantitatif du Cut-Back 400/600 pour renforcement.....	170
Tableau 82: Devis quantitatif de la Grave Bitume pour renforcement.....	171
Tableau 83: Devis quantitatif de la GCNT 0/31 ⁵ pour renforcement.....	171
Tableau 84: Devis quantitatif du balisage diurne pour renforcement.....	171
Tableau 85: Devis quantitatif du balisage lumineux pour renforcement.....	171
Tableau 86: Devis quantitatif de désherbage et débroussaillage.....	172
Tableau 87: Devis quantitatif de remblais ordinaire pour la nouvelle chaussée.....	172
Tableau 88: Devis quantitatif du Béton Bitumineux 0/14 pour la nouvelle chaussée souple.....	172
Tableau 89: Devis quantitatif du Cut-Back 0/1 pour la nouvelle chaussée souple.....	172
Tableau 90: Devis quantitatif du Cut-back 400/600 pour la nouvelle chaussée souple.....	173
Tableau 91: Devis quantitatif du Grave Bitume pour la nouvelle chaussée souple.....	173
Tableau 92: Devis quantitatif du GCNT 0/31 ⁵ pour la nouvelle chaussée souple.....	173
Tableau 93: Devis quantitatif du Tout Venant de Concassage 0/60 pour la nouvelle chaussée souple.....	174
Tableau 94: Devis quantitatif de la couche anti-contaminante et anticapillaire pour la nouvelle chaussée.....	174
Tableau 95: Devis quantitatif du balisage diurne pour la nouvelle chaussée.....	174
Tableau 96: Devis quantitatif du balisage lumineux pour la nouvelle chaussée.....	174
Tableau 97: Devis quantitatif du matériau sélectionné pour la nouvelle chaussée souple.....	175
Tableau 98: Devis quantitatif d'engazonnement de la nouvelle chaussée.....	175
Tableau 99: Devis quantitatif des gazons de protection de talus pour la nouvelle chaussée.....	175
Tableau 100: Devis quantitatif du drain d'évacuation pour la nouvelle chaussée.....	175
Tableau 101: Devis quantitatif du puisard pour la nouvelle chaussée.....	175
Tableau 102: Devis quantitatif du Béton de Ciment pour la nouvelle chaussée rigide.....	176
Tableau 103: Devis quantitatif du Grave Ciment pour la nouvelle chaussée rigide.....	176
Tableau 104: BDE des chaussées souples.....	177
Tableau 105: BDE de la chaussée rigide.....	178
Tableau 106: Redevance d'atterrissage pour le trafic national.....	182

Tableau 107: Redevance d'atterrissage pour le trafic régional et international	182
Tableau 108: Redevance passagère	183
Tableau 109: La redevance de frets	183
Tableau 110: Nombre de mouvements moyens par jour	185
Tableau 111: Quantité de frets et nombre de passagers moyens sur 10 années.	190
Tableau 112: Coûts d'entretien et des réparations des chaussées	191
Tableau 113: Calcul du TRI pour chaussée souple	192
Tableau 114: Calcul du TRI de la chaussée rigide.....	193
Tableau 115: Règles d'urbanisme applicable dans les différentes zones de bruit	202
Tableau 116: Impact sur la santé des polluants présents sur une plate-forme.....	205



LISTE DES FIGURES

Figure 1: La piste, ses bandes et ses 3 prolongements.....	5
Figure 2: Eléments constitutifs d'une aire de mouvement.....	7
Figure 3: Envergure et largeur hors tout	16
Figure 4: Phase de décollage d'un aéronef.....	19
Figure 5: Distance d'atterrissage.....	19
Figure 6: Exemple de configurations de bandes : piste exploitée aux instruments avec un prolongement et prolongement dégagé.....	29
Figure 7: Zone à respecter par les ouvrages d'art.....	29
Figure 8: Exemple d'une bande composite possédant une piste revêtue exploitée à vue et une piste pour planeurs.....	31
Figure 9: Congés de raccordement	33
Figure 10: Marge, surlargeur d'une voie de circulation.....	34
Figure 11: Localisation du projet.....	36
Figure 12: Localisation du site.....	44
Figure 13: Surface intérieure d'approche, surfaces intérieures de transition et surface d'atterrissage interrompu	47
Figure 14: Diagrammes de trafic des avions de 1992 à 2002	49
Figure 15: Trafics passagers entre 1992 à 2002.....	50
Figure 16: Trafic de fret entre 1992 à 2002	51
Figure 17: Les différentes couches d'une chaussée souple	62
Figure 18: Les différentes couches d'une chaussée rigide.....	62
Figure 19: Dispositions constructives des joints des chaussées rigides.....	69
Figure 20: Structure d'une chaussée munie d'une couche de forme	75
Figure 21: Répartition des charges dans le sol	76
Figure 22: Variation de la R.S.E en fonction de la profondeur.....	76
Figure 23: Atterrisseur du type jumelage, boggie, tandem	78
Figure 24: Atterrisseur du type configurations complexes.....	78
Figure 25: Courbe de RSE en fonction de la profondeur et de la charge.....	79
Figure 26: modèle tricouche	88
Figure 27: Conversion d'un système multicouche	89
Figure 28: Surface de limitation d'obstacle vue en plan.....	104
Figure 29: Coupe de la surface de limitation d'obstacle.....	105
Figure 30: Caractéristiques géométriques de la raquette de retournement	107
Figure 31: Marque axial	110
Figure 32: Marque de point d'attente avant piste.....	110
Figure 33: PAPI (precision approach path indicator)	112
Figure 34: Disposition des atterrisseurs principaux.....	118
Figure 35: Drain d'évacuation	156
Figure 36: Schémas de calcul de drain	156

LISTE DES ABREVIATIONS

ACM : Aviation Civile de Madagascar
ACN : Aircraft Classification Number
ACNUSA : Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires
ADEMA : Aéroports de Madagascar
ADEME : Agence DE l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
APPM : Avant Projet de Plan de Masse
BB: Béton Bitumineux
BDE: Bordereau Detail Estimatif
CBR: Californian Bearing Ratios
CCE: Commission Consultative de l'aérodrome
CFAA: Cash-Flow Annuel Actualisé
CFB: Cash-Flow Brut
CFBC: Cash-flow Brut Cumulé
CSINA : Conseil Supérieur de l'Infrastructure et de la Navigation Aérienne
DRN : Délai de Récupération Normale
GB : Grave Bitume
GC : Grave Ciment
GCNT : Grave Concassée Non Traitée
ICAAC : Instructions sur la Conception et l'Aménagement des Aéroports Civils
ILS : Instrument Landing System
INSTAT : Institut National de la Statistique
ITAC : Instruction Technique de l'Aviation Civil
LAS : Limon Argileux et Sableux
Lden : Level day evening night
LNTPB : Laboratoire National des Travaux Publics et Bâtiments
OACI : Organisation de l'Aviation Civil International
OPM : Optimum Proctor Modifié
PCN : Pavement Classification Number
PEB : Plan d'Exposition au Bruit
PGS : Plan de Gêne Sonore
PLU : Plan Locaux d'Urbanisme
POS : Plan d'Occupation du Sol
STBA : Service Technique des Bases Aériennes
TGAP : Taxe Générale sur les Activités Polluantes
TRI : Taux de Rentabilité Interne
TVC : Tout Venant de Concassage
VAN: Valeur Actuelle Nette
VHF: Very High Frequency
VOR: VHF Omnidirectional Radiorange

LISTE DES NOTATIONS

Paramètres grec :

- $\sigma = \sigma_{bt}$: Contrainte admissible de la traction par flexion
- σ_o : Contrainte admissible
- σ_{ri} : Contrainte radiale de la couche i
- $\sigma_{z,adm}$: Contrainte admissible du sol support
- σ_{zi} : Contrainte verticale de la couche i
- μ : Coefficient de poisson

Paramètres Arabe :

- a_i : Coefficient d'équivalence de la couche i
- CS : Coefficient de sécurité
- CT : Coefficient de correction
- d : La plus petite distance mesurée intérieure des deux empreintes voisine
- DH : Hauteur de décision
- $e_{eq\ nec}$: Epaisseur équivalente nécessaire
- $e_{eq\ exi}$: Epaisseur équivalente existante
- $e_{réelle}$: Epaisseur réelle
- e_{renf} : Epaisseur équivalente de renforcement
- E_i : Module d'élasticité de la couche i
- k : Coefficient de pondération des aires
- K : Module de réaction du sol support
- K_C : Module de réaction corrigée
- P_o : Charge admissible sur atterrisseur
- P_{at} : Charge admissible de l'avion
- P : Charge appliquée sur atterrisseur
- P' : Charge réelle pondérée
- P'' : Charge normale de calcul
- q : Pression de gonflage des pneumatiques
- RSE : Roue Simple Equivalente
- RVR : Portée visuelle de la piste
- S : Voie du train des roues jumelées
- S_D : Distance de centre à centre séparant la roue de référence de la roue la plus éloignée
- S_T : Empattement
- Z : Profondeur

INTRODUCTION

La mondialisation actuelle multiplie des échanges dans des divers domaines à savoir le commerce, l'industrie et la technologie. Ceci va engendrer de nombreux déplacements des gens d'un pays à l'autre par voie aérienne.

Par ailleurs, le développement économique et l'accroissement du nombre de la population mondiale vont de pair avec l'augmentation du trafic aérien.

Tout cela permet de dire que le trafic aérien restera en évolution croissante au fil du temps. D'ailleurs, le progrès incessant de la technologie aéronautique fait apparaître un nouveau type d'aéronef de grosse capacité. A cet égard, le constructeur Airbus Européen a réalisé la construction de l'Airbus A380, un des plus grands avions du monde, qui est capable de transporter jusqu'à 855 passagers. Actuellement, de nombreuses compagnies aériennes s'intéressent à cet avion géant et a déjà lancé des commandes.

Quant à Madagascar, qui dispose d'énormes potentialités en matière de tourisme, on peut croire à l'arrivée massive des touristes dans le pays. A l'heure actuelle, la plupart des touristes proviennent d'Europe.

Aussi, depuis ces dernières années, le nombre des visiteurs étrangers, que ce soit touristes ou hommes d'affaire confondus ou autres, n'a cessé d'augmenter. De ce fait, l'introduction massive de l'Airbus A380 à Madagascar est envisageable. Cela exige la mise en œuvre d'autre aéroport international que celle d'Ivato, pour gain de temps pour les clients et permettre une évolution économique rapide de certaines Région. Mais tout cela demande un aménagement des infrastructures aéronautiques dont fait partie la piste d'envol, la voie de circulation et l'aire de stationnement.

D'où le thème de mon mémoire de fin d'étude : « **AMENAGEMENT DE L'AERODROME MILITAIRE D'ANDRAKAKA EN AERODROME INTERNATIONAL** ».

Ce mémoire a pour principaux objectifs :

- de déterminer l'épaisseur réelle de renforcement de la chaussée existante ;
- de dimensionner une chaussée neuve de prolongement en considérant deux variantes : chaussée souple et chaussée rigide ;
- de calculer les charges admissibles PCN de la chaussée renforcée et de la chaussée neuve de prolongement ;
- d'étudier la rentabilité du projet.

Pour atteindre ces objectifs, le travail est divisé en trois parties :

- ✓ Partie I : Généralités et études préliminaires ;
- ✓ Partie II : Analyse technique et proposition de solution ;
- ✓ Partie III : Etude économique et étude d'impacts environnementaux.

Partie I : **GENERALITES ET ETUDES PRELIMINAIRES**

Chapitre I : GENERALITES

I- DEFINITIONS DES TERMES PRINCIPAUX

a- Aérodromes

L'aérodrome est défini par le Code de l'Aviation civile dans son article R. 211-1 comme étant « tout terrain ou plan d'eau spécialement aménagé pour l'atterrissage, le décollage et les manœuvres des aéronefs y compris les installations annexes qu'il peut comporter pour les besoins du trafic et de service des aéronefs ».

b- Aéroport

C'est l'ensemble des bâtiments et des équipements nécessaires au trafic aérien, desservant généralement une ville.

c- Aérogare

C'est l'ensemble des bâtiments d'un aéroport réservés aux voyageurs et aux marchandises. Il est aussi un lieu de départ et d'arrivée des services autocars assurant la liaison avec l'aéroport dans une ville.

d- Aéronef

C'est un appareil capable de s'élever ou de circuler dans l'atmosphère.

e- Aéronautique

C'est la science de la navigation aérienne : technique de la construction des appareils de locomotion aérienne.

II- APERCU SUR LES ELEMENTS DE RENSEIGNEMENT SUR LES AERODROMES

L'aérodrome comprend deux parties principales qui sont l'aire de mouvement et les zones des installations. De plus, il est indissociable à son environnement aérien et de son environnement terrestre.

1. Aire de mouvement

L'aire de mouvement comprend toutes les infrastructures de l'aérodrome aménagées en vue des opérations d'atterrissage et de décollage des aéronefs ainsi que de leurs évolutions au sol ou en translation.

a- Aire de manœuvre

L'aire de manœuvre comprend :

✓ la (ou les) piste(s)

La piste est une aire aménagée afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs.

✓ Tiroir

Une extrémité de piste peut ne pas coïncider avec le seuil de piste, qui est la limite, parallèle aux extrémités, en deçà de laquelle le roulement à l'atterrissage est interdit. On dit, dans ce cas, qu'il y a seuil décalé. La portion de piste comprise entre le seuil décalé et l'extrémité de la piste est appelée tiroir.

✓ Prolongement d'arrêt

On appelle prolongement d'arrêt une partie de terrain coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, de même largeur que celle de la piste. Il est aménagé de façon à permettre à un aéronef roulant au sol et à dépasser occasionnellement l'extrémité de la piste de pouvoir faire sans subir de dommages, la manœuvre de décollage interrompu. Cette manœuvre est aussi appelée manœuvre d'accélération-arrêt.

✓ Prolongement dégagé

On appelle prolongement dégagé 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. Il ne présente aucun obstacle pouvant constituer un danger pour un aéronef volant à faible

hauteur en fin de manœuvre de décollage. Lorsqu'elle est pourvue d'un corps de chaussée, la piste est dite revêtue. Elle peut alors comporter un ou plusieurs élargissements, dénommés raquettes de retournement. Elles facilitent le demi-tour et les manœuvres des aéronefs.

✓ **Abord de piste**

On désigne par abords de piste la partie du terrain jouxtant les côtés d'une piste revêtue (bords et extrémités) et ses prolongements d'arrêt éventuels, qui est aménagée de façon à limiter pour l'avion les conséquences d'une sortie de piste.

✓ **Accotement**

Les abords de piste peuvent être partiellement traités en accotements le long des bords de piste de façon à ce qu'un avion sortant accidentellement de la piste ne subisse pas de dommages structurels et que soient évitées les projections ou ingestions de corps étrangers par les groupes motopropulseurs.

✓ **La bande aménagée**

Pour le cas d'une piste revêtue, la piste, les abords et le prolongement d'arrêt constituent globalement la bande aménagée. Pour le cas d'une piste non revêtue, celle-ci est confondue avec sa bande aménagée.

✓ **La bande dégagée**

On désigne par bande dégagée, ou plus simplement bande une aire rectangulaire, incorporant la bande aménagée, de même que, lorsqu'il existe, le prolongement dégagé, et ne comportant aucun obstacle pouvant présenter un danger pour un aéronef volant à faible hauteur.

✓ **L'aire de sécurité d'extrémité de piste**

On appelle aire de sécurité d'extrémité de piste une aire, 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 dommages matériels au cas où un aéronef atterrirait trop court ou dépasserait l'extrémité de piste.

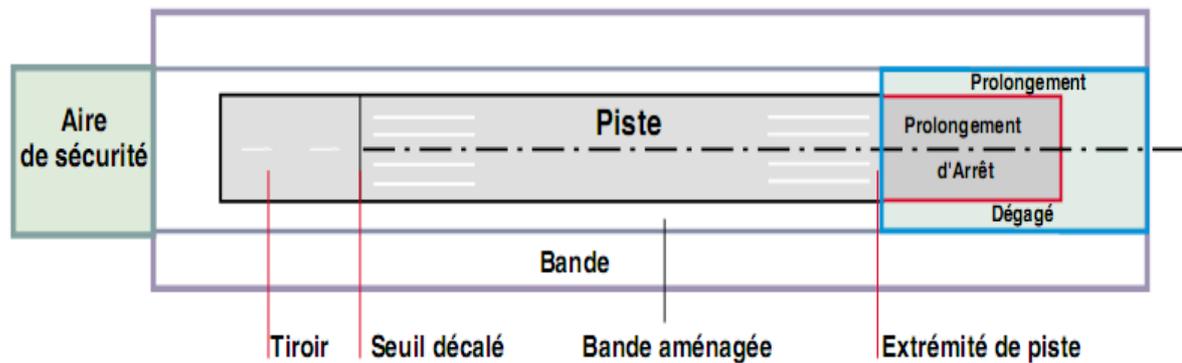


Figure 1: La piste, ses bandes et ses 3 prolongements

✓ **Les voies de circulation**

Les voies de circulation constituent un ensemble de voies reliant entre elles les différentes parties de l'aire de mouvement. Elles permettent aux aéronefs de circuler de l'une à l'autre de ces parties.

On distingue généralement sur ces voies de circulation :

- l'entrée-sortie de piste permettant aux aéronefs d'accéder à la piste ou de la quitter ;
- les voies de relation permettant le déplacement des aéronefs entre les entrées-sorties de piste et les aires de stationnement.

Les voies de relation deviennent des voies de desserte lorsqu'elles bordent ou traversent les aires de stationnement. Elles font alors partie de l'aire de trafic.

✓ **La voie de sortie rapide**

Elle est destinée à des aéronefs circulant à une vitesse élevée en fin d'atterrissage. Elle est conçue en conséquence d'une entrée-sortie de piste.

✓ **Le point d'arrêt**

Le point d'arrêt est la limite qu'un aéronef ne doit franchir que moyennant certaines précautions ou autorisations. Un point d'arrêt particulier constitue ainsi l'extrémité amont, en direction de la piste, d'une entrée-sortie de piste.

✓ **Une aire d'attente**

Une aire d'attente peut notamment être aménagée à proximité d'un point d'arrêt précédant une entrée de piste. Elle permet à des aéronefs de s'immobiliser sans interdire la circulation d'autres aéronefs.

✓ **Les raquettes**

Les raquettes sont des aires aménagées en forme d'un arc. Elles permettent aux avions de faire demi-tour. L'aménagement des raquettes est obligatoire lorsque l'aérodrome ne dispose pas de piste parallèle.

On distingue deux sortes de raquettes :

- la raquette d'extrémité qui se trouve aux extrémités de la piste d'envol. Elle est utilisée lorsque l'avion fait un manœuvre en vue de prendre la position de décollage ;
- la raquette intermédiaire qui se trouve en un certain endroit de la piste d'envol. Elle est utilisée lorsque l'avion qui vient d'atterrir, veut aller à l'aire de stationnement ou bien lorsqu'un avion qui n'exige qu'une faible distance de décollage a besoin de faire demi-tour pour décoller.

b- Les aires de trafics

Les aires de trafic sont destinées à recevoir les aéronefs pendant les opérations d'escale.

Elles comprennent :

- les voies de desserte bordant ou traversant les aires de stationnement ;
- les aires de stationnement.

Les aires de trafic peuvent se différencier suivant leurs fonctions en :

- **aire de trafic d'aérogare passagère** qui est une aire destinée pour la manœuvre et le stationnement des avions, sur laquelle les passagers effectuent leur embarquement et leur débarquement.
Cette aire peut également être utilisée pour le ravitaillement, l'entretien des avions ou pour charger et décharger le fret, la poste et les bagages ;
- **aire de trafic d'aérogare fret** adjacente à l'aérogare de fret qui est parfois prévue pour des avions ne transportant que du fret ou de la poste ;
- **aire de garage** qui est une aire destinée au stationnement des avions pendant les périodes où ils ne sont pas utilisés commercialement. L'aire de garage peut toutefois être mise à contribution en période de trafic de pointe et doit, par suite, être conçue en conséquence. Son équipement à cette fin peut, par contre, être simplifié ;

- **aire d'entretien** qui est aménagée sur les grands aérodromes commerciaux en tête de ligne. La conception de cette aire est naturellement à examiner en liaison avec ces services.

Mais ce groupement en quatre types est souvent théorique, car la spécialisation des aires dépend de l'importance de l'aérodrome. Sur les moyens et petits aérodromes, les mêmes aires peuvent remplir plusieurs fonctions.

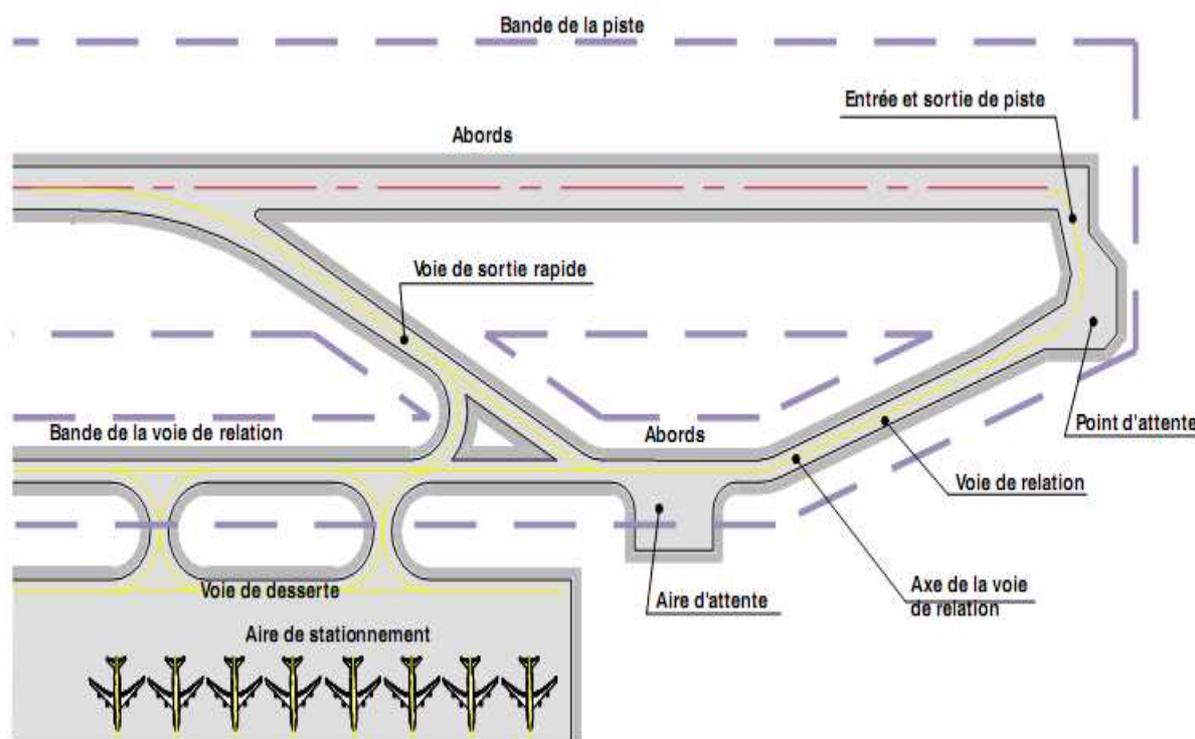


Figure 2: Éléments constitutifs d'une aire de mouvement

2. Zone des installations

Elles sont situées à proximité des aires de trafic et sont, en général, regroupées par zones d'activités semblables.

a- Zones d'exploitation

Ces zones comprennent les ouvrages destinés à l'exploitation de l'aérodrome :

- **exploitation commerciale** : aérogare passagers, aérogare de fret, commissariat hôtelier, abri de matériel de piste, parcs à véhicules, dépôts de carburant, etc ;
- **exploitation technique** : bloc technique et vigie, moyens généraux de l'aérodrome, service incendie, centrale électrique et parcs à véhicules correspondants.

b- Zones d'activités industrielles

Les zones d'activités industrielles regroupent les ouvrages nécessaires à l'entretien et aux réparations d'aéronefs, éventuellement même à la construction aéronautique. Elles peuvent aussi abriter des industries qui fabriquent des matériels destinés à l'exportation et qui ont besoin d'un entrepôt sous douane.

c- Zones spécialisées

Ce sont des zones utilisées par un des affectataires de l'aérodrome (organismes chargés de l'administration générale de l'aérodrome) ou pour une activité spécifique, par exemple :

- zone militaire (armée de l'air, de terre ou aéronavale) ;
- zone pour la sécurité civile ;
- zone d'aviation générale (monomoteur, planeurs, etc.).

d- D'autres installations

Elles sont dispersées en divers endroits de l'aérodrome, en fonction de leur utilisation. Ce sont notamment :

- les installations de balisage ;
- les postes de transformation ;
- les émetteurs de radionavigation, tels que ILS (*Instrument Landing System*), radiobornes, VOR (*VHF Omnidirectional Radiorange*), etc. ;
- les installations de mesures météorologiques ;
- les réseaux divers (voirie, eaux usées, eau potable, câbles électriques, etc.).

III- LES AIDES VISUELLES A LA NAVIGATION ET LES DIFFERENTS TYPES D'APPROCHE DANS LES AERODROMES

1. Les aides visuelles à la navigation

a- Le balisage

Le balisage est constitué par l'ensemble des repères visuels artificiels fixes, lumineux ou non. Il sert à guider les aéronefs dans leurs manœuvres.

b- Les marques aéronautiques

Ce sont des symboles ou groupes de symboles mis en évidence à la surface de l'aire de mouvement pour fournir des renseignements aéronautiques.

c- **La signalisation**

La signalisation est constituée par l'ensemble des signaux utilisés pour donner aux pilotes des informations et des consignes destinées à assurer la sécurité des aéronefs en vol et au sol.

2. Les différents types d'approche

a- **L'approche à vue**

L'approche (ou le décollage) en conditions de vol à vue n'est possible que lorsque les conditions météorologiques régnant sur l'aérodrome et à son voisinage sont identiques à celles fixées par les Règles de l'Air annexées au décret n° 71-180 du 2 mars 1971 et visées par l'article D. 131-7 du Code de l'Aviation Civile. L'approche à vue se caractérise alors par l'utilisation d'aides visuelles simplifiées et celle d'aides radioélectriques, à titre accessoire.

b- **L'approche de précision**

Au cours d'une approche aux instruments dite approche de précision, l'équipement électronique au sol fournit à celui de l'aéronef des informations en azimut, en site et en distance permettant à celui-ci de suivre une trajectoire venant se confondre, en phase finale d'approche, avec le début d'une trajectoire d'atterrissage.

c- **L'approche classique**

Une approche aux instruments autre qu'une approche de précision est dite approche classique.

Les conditions météorologiques peuvent être toutefois à ce point mauvais que le pilote soit conduit à décider d'interrompre une procédure d'approche aux instruments avant d'entamer celle d'atterrissage.

Remarques :

Pour pouvoir exploiter convenablement ces différents types d'approche on doit savoir :

La hauteur de décision

La hauteur la plus faible des roues de l'aéronef, par rapport à une altitude repère propre à la piste, à laquelle cette décision peut être prise dépend naturellement du niveau d'équipement de l'aérodrome mais avant tout de la qualité de ses dégagements. Lorsqu'il s'agit d'une approche de précision, cette hauteur minimale, dite hauteur de décision, est mesurée par rapport à l'altitude du seuil utilisé.

La valeur de cette hauteur de décision (D.H.) est déterminée en fonction de l'une des trois catégories d'approches de précision :

Catégorie I : $DH = 60 \text{ m}$ (200 pieds),

Catégorie II : $30 \text{ m} \leq DH < 60 \text{ m}$,

Catégorie III : $DH < 30 \text{ m}$ (100 pieds).

La portée visuelle de piste

C'est la distance jusqu'à laquelle le pilote d'un aéronef placé sur l'axe de la piste peut voir les marques ou les feux qui la délimitent ou qui balisent son axe.

La valeur de cette portée visuelle de piste (R.V.R.) conduit à distinguer parmi les décollages par faible visibilité ($R.V.R. < 400 \text{ m}$) ceux ne nécessitant pas la mise en œuvre d'aides radioélectriques ($150 \text{ m} < R.V.R. < 400 \text{ m}$), et les décollages ($R.V.R. < 150 \text{ m}$) faisant obligatoirement appel aux aides radioélectriques.

IV- LES EQUIPEMENTS METEOROLOGIQUES

1. Paramètres à mesurer

Les équipements météorologiques sont principalement destinés à fournir au pilote les indications qui lui sont nécessaires à l'atterrissage et au décollage.

Ces indications comprennent :

- la vitesse et la direction du vent ;
- la visibilité horizontale au seuil de piste ;
- la hauteur du plafond de nuages ;
- la température ;
- la pression atmosphérique.

Ces données sont transmises par les équipements météorologiques au contrôleur de la tour, qui les retransmet au pilote.

La vitesse et la direction du vent sont données par un anémomètre et une girouette situés près des seuils de piste.

2. Mesure de visibilité horizontale

La visibilité horizontale, appelée portée visuelle de piste (RVR : *runway visual range*) est évaluée soit par un calcul automatique effectué par les instruments précisés ci-dessous, soit en fonction des besoins du trafic et des disponibilités en personnels, par une observation visuelle directe dénommée Visibilité Balise (VIBAL).

L'appareil réalisant la mesure et le calcul de la visibilité horizontale le long de la piste est un système composé des éléments suivants :

- un ou plusieurs transmissiomètres mesurant le pouvoir transmissif de l'atmosphère ;
- un capteur de luminance chargé de mesurer la luminance du fond sur lequel se détachent les objets observés ;
- un système informant la station météorologique de l'état de l'intensité du balisage (HI ou BI) ;
- un calculateur intégrant ces trois paramètres et les transmettant à la station et à la tour de contrôle.

3. Télémètre de nuages

Le télémètre de nuages mesure la hauteur du plafond de nuages et se compose de :

- un émetteur de lumière chargé d'émettre des impulsions lumineuses très brèves et très puissantes (4 MW en crêtes) ;
- un récepteur traitant le signal reçu au retour ;
- un système enregistreur, chargé également de transmettre les informations à la station météorologique.

V- LES CLASSIFICATIONS ET CODE DE REFERENCE DES AERODROMES

1. Notion de classification des aérodromes

a- Catégories d'aéronefs

On distingue plusieurs sortes d'aéronefs :

- les avions : ce sont des aéronefs à moteurs et à ailes fixes. Ils représentent la quasi-totalité du matériel de transport aérien ;
- les hydravions : ce sont des avions conçus pour manœuvrer sur l'eau. En France, on les rencontre essentiellement dans le domaine de la Sécurité civile et dans le domaine militaire ;

- les giravions : ce sont des aéronefs sustentés par des ailes rotatives. Le seul type rencontré couramment est l'hélicoptère. L'hélicoptère est très peu utilisé en transport aérien, mais l'est souvent dans des buts de sécurité (en montagne par exemple), pour du travail aérien, pour des évacuations sanitaires (blessés graves) ou dans des buts militaires ;
- les planeurs.

b- Classification des avions

Le critère pris en considération pour la classification des avions par catégories est la vitesse indiquée au seuil (v_{at}) qui est égale à la vitesse de décrochage (v_{so}) multipliée par 1,3 ou à la vitesse de décrochage avec une accélération de 1 g (v_{s1G}) multipliée par 1,23. Elle est en fonction de la configuration d'atterrissage à la masse maximale certifiée à l'atterrissage.

Si les deux vitesses sont disponibles à la fois, la vitesse la plus élevée indiquée au seuil (v_{at}) qui en résulte doit être utilisée. Les catégories d'avion correspondant aux valeurs v_{at} sont spécifiées dans le tableau 1. La configuration à l'atterrissage qui doit être prise en considération doit être définie par l'exploitant ou le fabricant de l'avion.

Tableau 1: Classification des avions en fonction de la vitesse indiquée au seuil (v_{at})

Classification des avions en fonction de la vitesse indiquée au seuil (v_{at})	
Catégorie de l'avion	Vitesse indiquée au seuil v_{at} (kt)
A	Moins de 91 kt
B	De 91 à 120 kt
C	De 121 à 140 kt
D	De 141 à 165 kt
E	De 166 à 210 kt
L'unité utilisée ici est le nœud (knot) noté kt 1kt= 1 mille/h = 0,514 m/s	

c- Classification des aérodromes réservés aux avions

La classification française reposera, comme la réglementation internationale pour les aérodromes réservés aux avions, sur l'avion critique susceptible d'utiliser l'aérodrome et servira aux concepteurs et aux utilisateurs de l'aérodrome à dimensionner et à protéger celui-ci. Cette classification a été reprise dans la nouvelle Instruction Technique sur les Aérodromes Civils (ITAC) en 1999. Cette nouvelle classification sera effective après la modification du Code de l'aviation civile.

2. Classification française

a- Classification administrative des aérodromes

Le Décret du 17 Septembre 1959 adopte pour critères de classement des aérodromes :

- la longueur d'étape ;
- l'accessibilité ou non en tout temps et en toutes circonstances ;
- la nature du trafic assuré par l'aérodrome.

Cette classification est reprise par l'article R. 222-5 du Code de l'aviation civile, lequel distingue :

- **Catégorie A** : aérodromes destinés aux services à grande distance (étapes longues de plus de 3 000 km) assurés normalement en toutes circonstances ;
- **Catégorie B** : aérodromes destinés aux services à moyenne distance (étapes moyennes de 1 000 km à 3 000 km) assurés normalement en toutes circonstances, et à certains services à grande distance assurés dans les mêmes conditions mais qui ne comportent pas d'étape longue au départ de ces aérodromes ;
- **Catégorie C** : aérodromes, sur lesquels les services doivent être assurés normalement en toutes circonstances, destinés :
 - aux services à courte distance (étapes courtes de moins de 1 000 km) et à certains services à moyenne et même à longue distance qui ne comportent que des étapes courtes au départ de ces aérodromes,
 - au grand tourisme ;
- **Catégorie D** : aérodromes destinés à la formation aéronautique, aux sports aériens, au tourisme et à certains services à courte distance ;
- **Catégorie E** : aérodromes destinés aux giravions et aux aéronefs à décollage vertical ou oblique.

Un service est assuré normalement en toutes circonstances quand l'aérodrome peut être équipé d'aides radioélectriques à l'atterrissage. Il est conçu de telle façon que les procédures d'approche, d'atterrissage et de décollage permettent d'obtenir, en toute sécurité, un niveau de régularité adapté à l'importance du trafic.

Cette classification sera complétée lors de la réécriture du Code de l'aviation civile.

b- L'ancienne classification de l'ITAC

Le Décret du 17 Septembre 1959 stipulait également que les aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique seraient « aménagés et équipés de manière à satisfaire aux activités correspondant à leur catégorie » selon des modalités qui devaient « être précisées par un Arrêté du Ministre chargé de l'Aviation Civile après avis du Conseil Supérieur de l'Infrastructure et de la Navigation Aériennes » (C.S.I.N.A.).

Comme cette procédure ne connut jamais aucun aboutissement, on constate que les caractéristiques techniques à donner à un aérodrome dépendaient d'autres critères d'activité que ceux délimitant les catégories codifiées.

Ces critères sont :

- le volume de trafic à écouler sur chaque relation ;
- la technologie des aéronefs les plus exigeants appelés à utiliser l'aérodrome ;
- les particularités de son exploitation.

Les deux derniers paramètres ci-dessus conduisent notamment à faire dès à présent la distinction entre les aérodromes à caractéristiques normales et ceux dits à caractéristiques spéciales. Cette distinction ne se limite pas aux hélistations incorporées à la catégorie E mais comprennent également les altiports, les hydrobases et les plates-formes destinées aux ballons, aux dirigeables et aux ULM.

Publiés à partir de 1983, les fascicules constituant la première édition de l'I.T.A.C. ne se démarquèrent pas pour autant de la classification codifiée de 1959. Qui est toutefois prolonger par une distinction plus fine concernant :

- d'une part, la catégorie D, qui recouvre des natures de trafic très différentes ;
- d'autre part, la catégorie C, dont la frontière avec la catégorie D présente un certain flou.

C'est ainsi que l'I.T.A.C., dans son édition précédente, distinguait :

➤ au sein de la catégorie C :

- une classe C1 d'aérodromes destinés à l'aviation de voyage et aux lignes à faible trafic (inférieur à 15 000 passagers annuels) ;
- une classe C2 destinée aux lignes à moyen et grand trafic (trafic supérieur à 15 000 passagers par an).

➤ au sein de la catégorie D :

- une classe D1 d'aérodromes destinés à l'aviation légère ;
- une classe D2 d'aérodromes destinés principalement à certains services à courtes distances n'ayant pas d'exigences particulières de régularité ;
- une classe D3 d'aérodromes destinés à l'aviation légère mais équipés de manière à pouvoir être normalement utilisés en toutes circonstances.

c- Classification de l'ITAC

La nouvelle Instruction technique des aérodromes civils, parue en Mai 1999, introduit la nouvelle classification des aérodromes, issue de la classification internationale de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI). C'est de cette classification basée sur un code de référence de l'aérodrome que découleront les caractéristiques principales des aéroports.

3. Code de référence de l'Aérodrome

Le code de référence d'aérodrome à caractéristiques normales comporte deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions des avions appelés à utiliser cet aérodrome. Ce sont le chiffre de code et la lettre de code.

- Le chiffre de code est un chiffre fondé sur la distance de référence de l'avion définie comme étant la longueur minimale (indiquée par son manuel de vol approuvé par l'autorité compétente ou dans une documentation équivalente du constructeur de l'avion) nécessaire pour son décollage à la masse maximale certifiée au décollage, au niveau de la mer, dans les conditions correspondant à l'atmosphère standard, en air calme et avec une pente de piste nulle. Le chiffre de code est déterminé en fonction de la plus grande des distances de référence des avions auxquels la piste est destinée.
- La lettre de code est une lettre fondée sur les valeurs maximales des envergures et des largeurs hors tout des trains principaux des avions auxquels l'installation est destinée. Si la lettre de code relève de deux critères, on devrait choisir et la largeur hors tout du train principal de l'avion le plus exigeant attribue à celui-ci deux lettres différentes, celle correspondant aux caractéristiques les plus élevées.

Tableau 2: Codes de référence de l'Aérodrome

Codes de référence de l'aérodrome				
Chiffre de Code	Distance de référence de l'avion (m)	Lettre de Code	Envergure (m)	Largeur hors-tout du train principal ⁽¹⁾ (m)
1	moins de 800	A	moins de 15	moins de 4,5 m
2	800 à 1 200 exclus	B	15 à 24 exclus	4,5 à 6 exclus
3	1 200 à 1 800 exclus	C	24 à 36 exclus	6 à 9 exclus
4	1 800 et plus	D	36 à 52 exclus	9 à 14 exclus
		E	52 à 65 exclus	9 à 14 exclus
		F	65 à 80 exclus	9 à 16 exclus
<i>(1) Distance entre les bords extérieurs des roues du train principal.</i>				

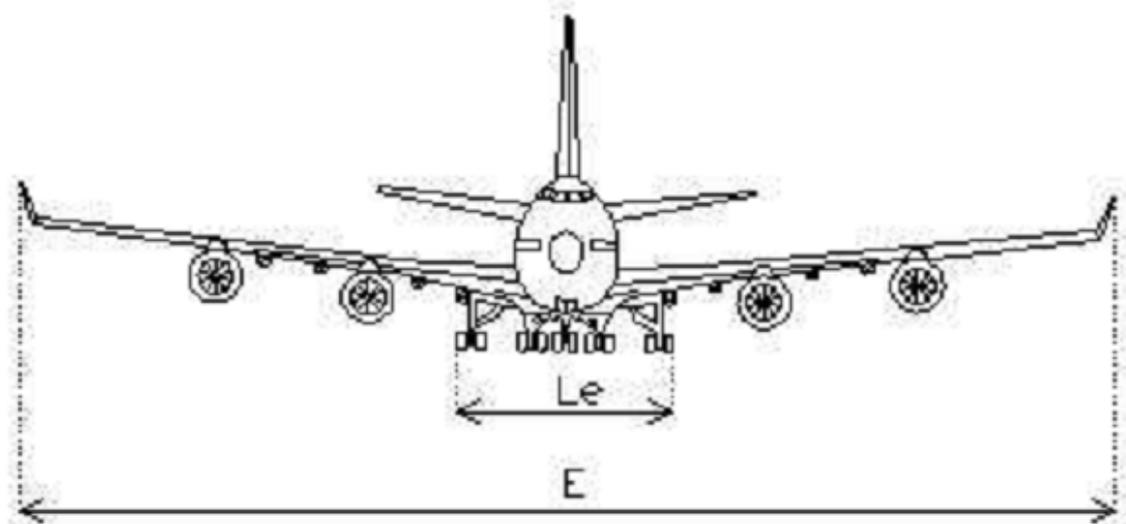


Figure 3: Envergure et largeur hors tout

CONCLUSION PARTIELLE

La base aérienne est donc la science qui étudie le mouvement d'un avion et les milieux auxquels il évolue. Le choix d'implantation d'un aéroport est soumis aux différentes contraintes : météorologiques, géographiques, topographiques... et les diverses infrastructures ou superstructures doivent être aménagées sur l'aéroport, selon des normes recommandées par les organismes internationaux opérant sur la navigation aérienne, pour assurer la sécurité des aéronefs d'une part et des personnes d'autre part.

Mais, pour pouvoir explorer plus ce projet, il est nécessaire de connaître un peu plus sur la piste d'envol et ses périphériques, qu'on va exploiter au chapitre précédent.

Chapitre II : LA PISTE ET SES PERIPHERIQUES

I- DECOLLAGE ET ATERRISSAGE

Une description sommaire des situations possibles, désirées ou non, susceptibles d'être rencontrées lors des procédures de décollage et d'atterrissage est nécessaire pour comprendre la raison de certaines dispositions de l'aire d'atterrissage.

1. Décollage

On se limitera à schématiser les phases de décollage pour des avions multi moteurs à turbomachines. Les autres avions multi moteurs sont soumis à des procédures légèrement différentes, mais sur les mêmes principes de base.

L'idée qui préside à la détermination d'une longueur de piste est qu'un multi moteur dont un moteur tombe en panne en cours de décollage doit pouvoir s'arrêter à temps ou poursuivre son décollage dans des conditions de sécurité suffisantes.

Lors d'un décollage, l'avion partant d'une vitesse nulle accélère jusqu'à ce que ses roues quittent la piste, puis atteint, à une hauteur de 10,7 m (soit 35 ft) au-dessus de la piste, une vitesse appelée vitesse de montée initiale (figure 4a).

Cette vitesse, notée v_2 est la vitesse minimale à laquelle un avion multi moteur peut respecter une pente de montée minimale suffisante avec un moteur qui ne fonctionne pas.

Dans le cas le plus critique de défaillance du moteur au cours du roulement au décollage, le pilote aura deux possibilités : soit de continuer son décollage, soit de freiner pour s'arrêter. La solution à adopter dépend de la vitesse de décision v_1 déterminée par le pilote, ou par la compagnie aérienne dont il dépend (figure 4b) :

- si l'avion n'a pas atteint cette vitesse de décision, le pilote doit freiner de façon à pouvoir s'arrêter sur la piste ;
- si cette vitesse est dépassée, le pilote doit poursuivre son décollage et décoller à la vitesse v_R (vitesse de l'avion lorsque la roulette de nez quitte le sol).

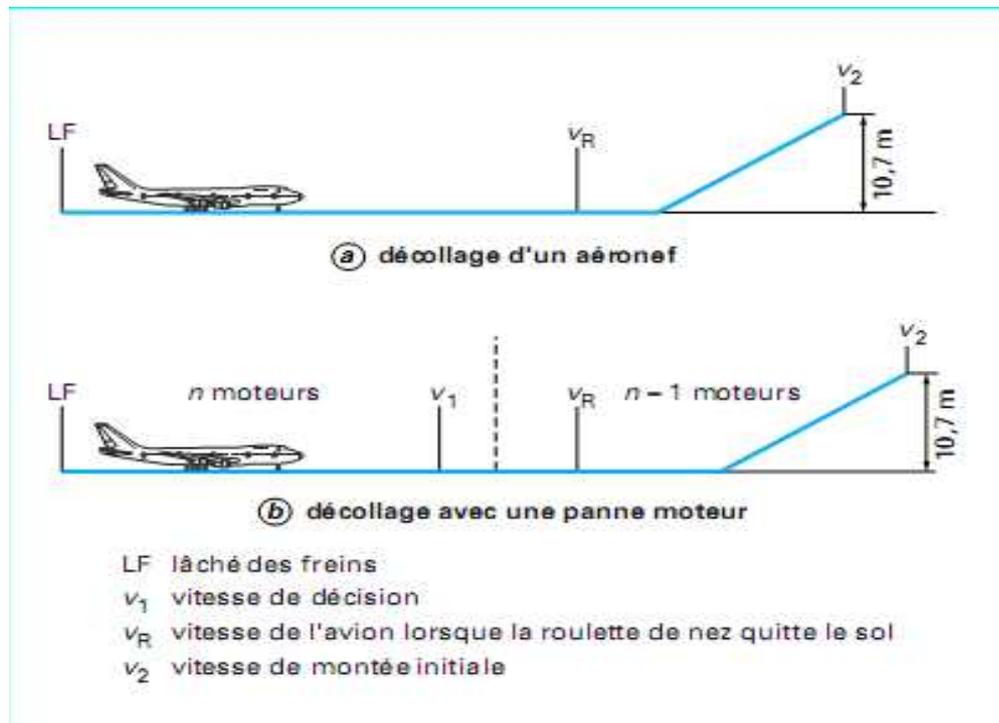


Figure 4: Phase de décollage d'un aéronef

2. Distance accélération-arrêt

On appelle distance accélération-arrêt la distance nécessaire, depuis le lâcher des freins, pour immobiliser l'avion après défaillance du groupe motopropulseur le plus critique, décelée au moment où est atteinte la vitesse de décision.

3. Atterrissage

On appelle distance d'atterrissage la distance horizontale (DA) nécessaire pour poser, puis arrêter l'avion à partir d'un point situé à 15 m (50 ft) au-dessus de l'aire d'atterrissage (figure 5). La longueur de piste nécessaire à l'atterrissage est égale à la distance d'atterrissage DA multipliée par un coefficient de sécurité : 1/0,6. Sur piste mouillée, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) recommande même d'ajouter une marge de sécurité de 15 %.

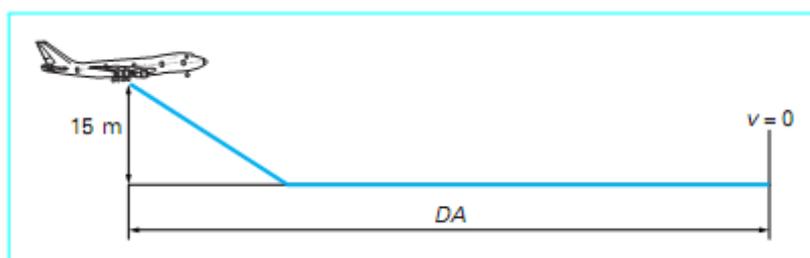


Figure 5: Distance d'atterrissage

II- LA PISTE

1. Définition

La piste est une aire rectangulaire définie sur un aérodrome terrestre et qui est aménagée afin de servir aux décollages et aux atterrissages des aéronefs. Un aérodrome peut comporter plusieurs pistes d'envol. Dans ce cas, il existe une piste principale et des pistes secondaires. La piste principale est utilisée de préférence aux autres toutes les fois que les conditions les permettent.

2. Différents types de piste

– Piste à vue

C'est une piste destinée aux aéronefs effectuant une approche à vue. Dans ce cas, l'approche et l'atterrissage se font sans recours à certains instruments.

– Piste aux instruments

C'est une piste destinée aux aéronefs effectuant une approche aux instruments. Dans ce cas, même dans de mauvaises conditions météorologiques, le pilote peut diriger son appareil en se fiant uniquement aux indications des instruments de bords.

Ce type de piste peut être classé en fonction des catégories des différents instruments implantés au sol, ainsi :

- une piste avec approche classique aux instruments, dotée d'aides visuelles et non visuelles, assurant au moins un guidage en direction droite satisfaisant pour une approche en ligne ;
- une piste avec approche de précision de catégorie I, piste aux instruments équipée d'un ILS et d'aides visuelles permettant l'approche jusqu'à une hauteur de décision de 60 m et une portée visuelle de piste de l'ordre de 800 m ;
- une piste avec approche de précision de catégorie II, piste aux instruments équipée d'un ILS et d'aides visuelles et permettant l'approche jusqu'à une hauteur de décision de 30 m et une portée visuelle de piste de l'ordre de 400 m ;
- une piste avec approche de précision de catégorie III, piste aux instruments équipée d'un ILS et d'instruments très précis. Elle peut être de catégorie :
 - A : destinée à l'approche jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 200 m sans hauteur de décision précisée ;
 - B : destinée à l'approche jusqu'à une portée visuelle de piste de l'ordre de 50 m sans hauteur de décision précisée, avec utilisation d'aides visuelles pour la circulation au sol ;
 - C : destinée à être utilisée pour l'atterrissage zéro sans recours à des moyens de repérage visuel.

3. Nombre, orientation et implantation d'une piste

Plusieurs facteurs influent sur la détermination de l'implantation, de l'orientation et du nombre des pistes. Parmi les plus importants, on peut citer :

- les conditions météorologiques, particulièrement le coefficient d'utilisation déterminé par la répartition des vents et l'incidence de brouillards localisés ;
- la topographie de l'aérodrome et de ses abords ;
- la nature et le volume de la circulation aérienne, y compris les aspects du contrôle de la circulation aérienne ;
- les considérations relatives aux performances des aéronefs ;
- les considérations écologiques, notamment en ce qui concerne le bruit.

– Influence du vent

Le décollage et surtout l'atterrissage des aéronefs deviennent dangereuses, lorsque l'axe de l'avion tend à faire un angle important avec l'axe de la piste ($\alpha = 6^\circ$ à 8°).

On appelle vent traversier la composante au sol de la vitesse de vent sur l'axe perpendiculaire de celui de la piste. Le vent traversier ne doit pas dépasser une valeur caractéristique et critique de l'aéronef V_{cc} qui dépend principalement de sa vitesse d'approche et qui est donnée par la formule :

$$V_{cc} = \text{Vitesse d'approche} \times \sin(\alpha)$$

La limite admissible du vent traversier varie selon la catégorie de l'aérodrome :

- 13 m.s^{-1} pour Catégorie A ;
- 10 m.s^{-1} pour Catégorie B ;
- 7 m.s^{-1} pour Catégorie C ;
- 5 m.s^{-1} pour Catégorie D.

– Coefficient d'utilisation

Soit N le nombre d'observations météorologiques avec mesure du vent et N' le nombre de fois où le vent était inférieur à la limite admissible. Le coefficient d'utilisation d'une direction d'envol est défini par :

$$C = 100 \frac{N'}{N}$$

Le nombre et l'orientation des pistes d'un aérodrome devraient être tels que le coefficient d'utilisation de l'aérodrome ne soit pas inférieur à :

- 95 % pour un aéroport de catégorie A et B ;
- 80 % pour un aéroport de catégorie C ;
- 70 % pour un aéroport de catégorie D pour les avions pour lesquels l'aéroport a été conçu.

– **Conditions de visibilité**

La visibilité horizontale, verticale et la hauteur du plafond de nuages influent sur les caractéristiques du vent. Dans le cas où la visibilité est mauvaise ou le plafond est bas, il faut étudier les conditions du vent à l'aéroport à l'aide des relevés météorologiques toutes les trois heures pendant 5 à 10 ans.

– **La température et les conditions atmosphériques**

Ces deux données sont importantes dans le domaine de la navigation aérienne car elles sont nécessaires à la détermination de la longueur de piste.

– **Caractéristiques topographiques de l'aéroport et de ses abords**

On tient compte :

- du respect des surfaces de limitation d'obstacles ;
- de l'utilisation actuelle et future des terrains ; il convient de choisir l'orientation et la disposition de façon à protéger le plus possible les zones particulièrement sensibles (habitations, écoles, hôpitaux) contre la gêne due au bruit des aéronefs ;
- des longueurs de piste actuelles et futures ;
- du coût des travaux de construction ;
- de la possibilité d'implantation d'aides visuelles et non visuelles d'approche.

Lors de l'étude de l'implantation des pistes, il y a également lieu de tenir compte des paramètres suivants :

- proximité d'autres aéroports ;
- densité de la circulation ;
- procédures de contrôle de la circulation aérienne et procédures d'approche interrompue ;
- effet de l'alignement des pistes sur la faune ;
- écologie de la région en général ;
- zones urbaines sensibles au bruit.

4. Longueur de piste

Compte tenu de ce qui a été vu précédemment la conception d'une piste nécessite de calculer les trois longueurs suivantes :

- la distance de décollage avec un moteur en panne ;
- la distance d'atterrissage ;
- la distance d'accélération-arrêt.

La longueur nécessaire pour une piste servant au décollage et à l'atterrissage sera la plus longue des trois.

Cependant, une condition indépendante de la longueur de piste intervient dans les calculs : il s'agit de l'obligation qu'a le pilote de maintenir une *pente de montée minimale* après le décollage, toujours avec un moteur en panne.

Cette condition fait intervenir :

- le survol d'éventuels obstacles ;
- la masse de l'avion ;
- les propriétés aérodynamiques de l'avion ;
- la puissance des moteurs ;
- la température de l'air ;
- la pression de l'air au niveau de l'aérodrome.

Le constructeur de l'avion fournit l'abaque permettant de déterminer la masse maximale admissible pour cette phase de vol. C'est cette masse qui sera prise en compte pour le calcul de longueur de piste.

Il faut veiller donc à la définition exacte de la longueur de piste.

Deux points sont importants :

- la longueur réelle de la piste sur l'aérodrome étudié est déterminée en fonction de la masse maximale de l'avion dimensionnant, de l'altitude de l'aérodrome, de la température de référence de l'aérodrome, de la pente longitudinale de la piste et de la présence d'obstacles à l'intérieur de la trouée de décollage ou d'atterrissage.
- l'existence éventuelle de tiroirs ou prolongements dégagés ; ceci peut notamment conduire à une longueur de décollage différente de celle de l'atterrissage.

5. Coefficient de correction des longueurs de pistes

La méthode décrite au paragraphe ci-dessus n'a pas de motif à être intégralement déroulée que lorsque la détermination de la longueur de la piste repose sur des choix économiques importants.

Ainsi, notamment est-elle disproportionnée dans le cas des petits aérodromes destinés à être ouverts à l'aviation générale, qui ne reçoivent d'ailleurs généralement que des avions monomoteurs.

Dans un cas comme dans l'autre, il y aura toutefois lieu d'appliquer, successivement, aux « longueurs de base » données par les catalogues d'avions (lesquelles se placent dans les conditions standard de température et de pression ainsi que dans le cas où la pente longitudinale de la piste est nulle), les différents coefficients de correction appelés par l'emplacement de l'aérodrome et par ses contraintes topographiques.

Ces coefficients de correction sont donc respectivement :

- **Le coefficient de correction d'altitude :**

$$(1 + n_1/100)$$

Avec :

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

$$h_1 = h - 1200 \text{ si } h > 1200m$$

$$h_1 = 0 \text{ si } h \leq 1200m$$

h : altitude de référence de l'Aérodrome, exprimée en mètres ;

h₁ : excédent positif de h sur 1200m.

- **Le coefficient de correction de température :**

$$(1 + n_2/100)$$

Avec :

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

$$t_1 = T - t$$

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

$$t_2 = 0 \text{ si } T < t + 10$$

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

$$t_3 = 0 \text{ si } T < t + 20$$

T : température de référence de l'aérodrome, étant la moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes, exprimées en degrés Celsius, du mois le plus chaud de l'année (ce dernier étant celui pour lequel la température mensuelle est la plus élevée),

t : température en atmosphère type à l'altitude de l'aérodrome, ayant pour valeur exprimée en degrés Celsius :

$$t = 15^{\circ}\text{C} - 0,0065 h$$

- **Le coefficient de pente :**

$$(1 + n_3/100)$$

Avec :

$$n_3 = 10p$$

p : pente moyenne de la piste exprimée en pour cent, obtenue en divisant la différence d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas par la longueur de piste.

La longueur de piste est donc obtenue en appliquant le coefficient global :

$$N = (1 + n_1/100) (1 + n_2/100) (1 + n_3/100)$$

Remarque :

- Dans le cas d'une piste gazonnée, la longueur obtenue doit encore être majorée afin de tenir compte aussi bien de l'augmentation du frottement de roulement au décollage que de la diminution du frottement de glissement au cours de l'accélération-arrêt ou à l'atterrissage. En l'absence d'indications particulières sur ce point, la longueur de piste recevra une nouvelle augmentation forfaitaire de 10 %.
- On portera attention à ce que les coefficients de correction, qui viennent d'être indiqués, ne sont valables que lorsque la correction cumulée d'altitude et de température ne dépasse pas 35 % c'est-à-dire :

$$(1 + n_1/100)(1 + n_2/100) \leq 1,35$$

Dans le cas contraire, une étude particulière s'impose pour laquelle il est conseillé de faire appel au Service technique des bases aériennes (STBA).

- En deçà de son seuil de validité, il convient enfin de retenir que la correction ci-dessus est maximale en ce qu'elle prend en compte une température supérieure à celle qui règne le plus souvent sur l'aérodrome. Le choix d'un coefficient plus faible pourra donc, si besoin était, être envisagé en concertation avec le STBA.

6. Largeur de piste

- **Piste revêtue**

La largeur d'une piste revêtue ne doit pas être inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau 3.

- **Piste non revêtue**

La largeur minimale d'une piste non revêtue donnée dans le tableau 3, est de 50 m ou de 80 m selon qu'il s'agit d'une piste pour avions ou d'une piste pour planeurs.

Remarque :

Une largeur plus importante pourra notamment être retenue lorsque l'aérodrome est le siège d'un grand nombre de mouvements d'avions. Il est en effet alors possible d'utiliser alternativement un côté ou l'autre de la piste pendant le temps suffisant à permettre une reconstitution de la végétation.

7. Principales caractéristiques géométriques d'une piste

Les caractéristiques géométriques stipulées dans l'Instruction technique sur les aérodromes civils (ITAC) sont regroupées dans le tableau 3.

Tableau 3: Caractéristiques géométriques d'une piste stipulées par l'ITAC

Caractéristiques géométriques d'une piste stipulées par l'ITAC							
Caractéristiques géométriques	Code	Code lettre					
		A	B	C	D	E	F
LARGEUR DES PISTES (m)							
<i>Piste revêtue aux instruments</i>	1	30	30	30			
	2	30	30	30			
	3	30	30	30	45		
	4			45	45	45	60
<i>Piste revêtue à vue</i>	1	18	18	23			
	2	23	23	30			
	3	30	30	30	45		
	4			45	45	45	60
<i>Piste non revêtue</i>	1 et 2	50	50				
	Planeur	80	80				
PROFIL EN LONG							
<i>Pente longitudinale moyenne⁽¹⁾ (%)</i>	1	2	2	2			
	2	2	2	2			
	3	1	1	1	1		
	4			1	1	1	1
<i>Pente longitudinale ponctuelle⁽²⁾ (%)</i>	1	2	2	2			
	2	2	2	2			
	3	1,5	1,5	1,5	1,5		
	4			1,25	1,25	1,25	1,25
<i>Changement de pente longitudinale⁽³⁾ (%)</i>	1	2	2	2			
	2	2	2	2			
	3	1,5	1,5	1,5	1,5		
	4			1,5	1,5	1,5	1,5
<i>Rayon de raccordement minimum (m)</i>	1	7 500	7 500	7 500			
	2	7 500	7 500	7 500			
	3	15 000	15 000	15 000	15 000		
	4			30 000	30 000	30 000	30 000
<i>Hauteur au-dessus de la piste</i>	1, 2,3et 4	1,5	2	3	3	3	3
PROFIL EN TRAVERS							
<i>Pentes transversales (%)</i>	1, 2,3et 4	2	2	1,5	1,5	1,5	1,5

- (1) calculées en divisant la différence d'altitude entre le point le plus haut et le point le plus bas de la piste, par sa longueur ;
- (2) calculées en divisant la différence d'altitude entre les deux extrémités de la piste, par sa longueur ;
- (3) le changement d'une pente à une autre.

III- BANDE DE PISTE

1. Longueur de la bande de piste

Une bande de piste doit s'étendre en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt (cf. figure 1) jusqu'à une distance d dont la valeur minimale est donnée dans le tableau 4.

Ces longueurs peuvent être déclarées en prolongement dégagé (figure 6) si les caractéristiques géométriques (pentes) sont respectées (cf. tableau 3).

Si la longueur du prolongement dégagé est supérieure à celles énoncées dans le tableau 4, alors la longueur de la bande de piste doit s'étendre jusqu'à l'extrémité du prolongement dégagé. Toutefois, cette extension ne nécessite pas une aire nivelée à l'intention des avions auxquels la piste est destinée, pour le cas où un avion sortirait de la piste (traitement en bande aménagée).

2. Largueur de la bande de piste

La largeur d'une bande de piste dépend des conditions d'utilisation pour lesquelles la piste est prévue. Ainsi cette largeur sera au moins égale aux valeurs données dans le tableau 5.

3. Longueur et largeur de la bande aménagée

La bande aménagée doit s'étendre sur toute la longueur de la bande. Toutefois, lorsque le dispositif de piste possède un prolongement d'arrêt, la longueur de la bande aménagée s'arrête en extrémité de ce prolongement (figure 5).

La largeur de la bande aménagée dépend des conditions d'utilisation pour lesquelles la piste est prévue, et sera supérieure ou égale aux valeurs données dans le tableau 5.

Dans le cas où la piste passe au-dessus d'une route ou d'une voie ferrée par exemple, la largeur de l'ouvrage d'art est définie comme indiqué sur la figure 6.

S'agissant des pistes non revêtues, aucune distinction n'est à faire entre les pistes elles-mêmes et leurs bandes aménagées.

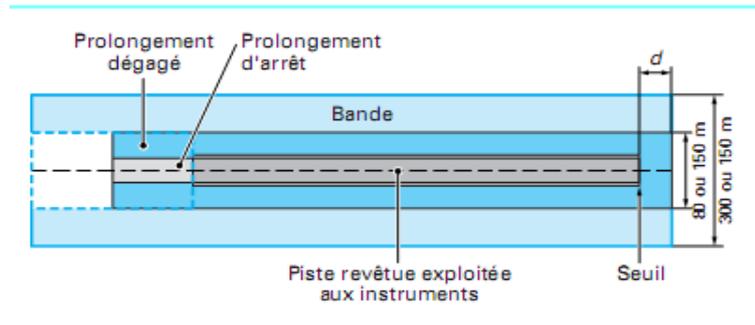


Figure 6: Exemple de configurations de bandes : piste exploitée aux instruments avec un prolongement et prolongement dégagé

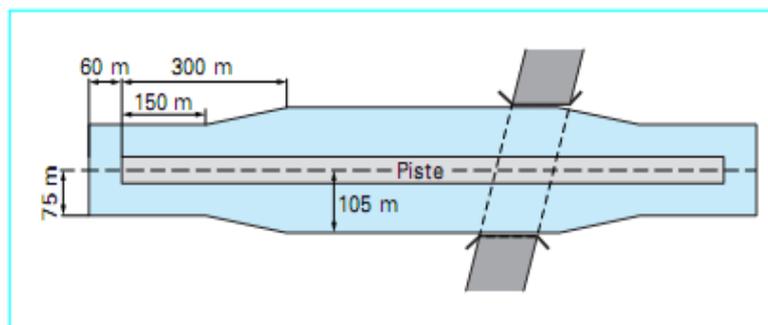


Figure 7: Zone à respecter par les ouvrages d'art

Tableau 4: Distance d en amont du seuil

<i>Distance d en amont du seuil (m)</i>				
Piste	Code chiffre			
	1	2	3	4
Piste exploitée aux instruments	60	60	60	60
Piste revêtue exploitée à vue	30	30	60	60
Piste non revêtue	0	0		

4. Principales caractéristiques géométriques des bandes de pistes

L'ensemble des caractéristiques géométriques des bandes de pistes est présenté dans le tableau 5.

Tableau 5:Caractéristiques géométriques des bandes de pistes

<i>Caractéristiques géométriques des bandes de pistes</i>				
<i>Code chiffre</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Longueur minimale en mètre (1)</i>				
<i>Piste exploitée aux instruments</i>	$L_p + PA + 120$ (2)			
<i>Piste revêtue exploitée à vue</i>	$L_p + PA + 60$ (3)	$L_p + PA + 60$ (3)	$L_p + PA + 120$ (2)	$L_p + PA + 120$ (2)
<i>Piste non revêtue</i>	$L_p + PA + PD$	$L_p + PA + PD$		
<i>Largeur (m)</i>				
<i>Piste exploitée aux instruments</i>	≥ 150	≥ 150	≥ 300	≥ 300
<i>Piste exploitée à vue</i>	≥ 60 (4) (5)	≥ 80	≥ 150	≥ 150
<i>Largeur de la partie aménagée (m)</i>				
<i>Piste exploitée aux instruments</i>	≥ 80	≥ 80	≥ 150	≥ 150
<i>Piste exploitée à vue</i>	≥ 60	≥ 80	≥ 150	≥ 150
<i>Pentes longitudinales des parties dégagée et aménagée (%)</i>				
	2	2	1,75	1,5
<i>Pentes transversales de la partie aménagée (%)</i>				
	3	3	2,5	2,5
<p>(1) PA : longueur du ou des prolongement(s) d'arrêt ; PD : longueur du ou des prolongement(s) dégagé(s) ; L_p : longueur de la piste</p> <p>(2) Si la piste possède un prolongement dégagé (≥ 60 m) à un seuil, la longueur de la bande sera de : $L_p + PD + 60$ m. Si la piste possède un prolongement dégagé (≥ 60 m) à chaque seuil, la longueur de la bande sera de : $L_p + PD_1 + PD_2$.</p> <p>(3) Si la piste possède un prolongement dégagé (≥ 30 m) à un seuil, la longueur de la bande sera de : $L_p + PD + 30$ m. Si la piste possède un prolongement dégagé (≥ 30 m) à chaque seuil, la longueur de la bande sera de : $L_p + PD_1 + PD_2$.</p> <p>(4) 80 m pour les pistes utilisées par des planeurs.</p> <p>(5) 50 m pour les pistes non revêtues pour avions.</p>				

5. Cas particuliers d'une bande composite

Lorsqu'il est nécessaire d'équiper une même direction d'envol de deux pistes de code chiffre 1 et 2, l'une revêtue et l'autre non, ou d'une piste de code chiffre 1 et 2 et d'une piste destinée aux planeurs (figure 8), sans qu'il soit possible de leur donner l'écartement minimal souhaitable de 150 m entre axes, on peut réduire cet écartement jusqu'à accoler exceptionnellement les ouvrages dans le cas d'un trafic très réduit (figure 7) et former ainsi une bande composite.

La largeur de bande associée à une bande composite est telle que ses bords se trouvent par rapport à l'axe de chaque piste à la distance minimale donnée par le tableau 6.

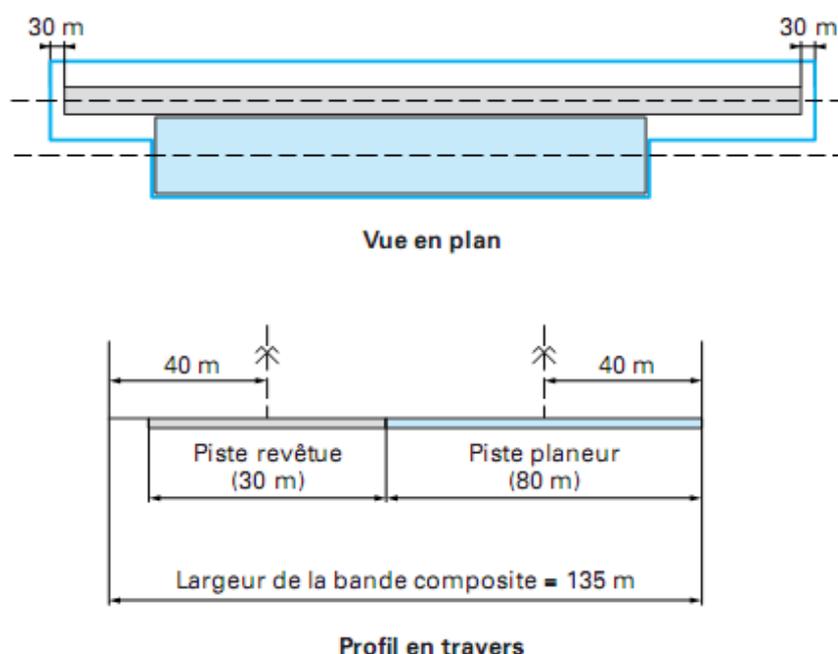


Figure 8:Exemple d'une bande composite possédant une piste revêtue exploitée à vue et une piste pour planeurs

Tableau 6:Distance minimale du bord de bande composite à chaque piste

<i>Distance minimale du bord de bande composite à chaque piste (m)</i>				
<i>Utilisation</i>	<i>Code chiffre</i>	<i>Code lettre</i>		
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>aux instruments</i>	<i>1</i>	75	75	75
<i>à vue</i>		30	30	30
<i>planeurs</i>		40		
<i>aux instruments</i>	<i>2</i>	75	75	75
<i>à vue</i>		40	40	40
<i>planeurs</i>		40		

IV- LES VOIES DE CIRCULATION

Pour permettre aux aéronefs d'évoluer au sol, les pistes sont reliées aux aires de stationnement par des voies de circulation.

Le nombre et les dimensions des voies de circulation dépendent de la classe de l'aérodrome et de l'importance du trafic.

1. Tracé des voies de circulation, Rayon de courbure

Le tracé de ces dernières est étudié de façon à permettre aux avions de circuler facilement. Par conséquent, il doit présenter aussi peu de virages que possible. En outre, il doit être le plus court possible pour raisons d'économie de carburant du gain de temps.

L'utilisation des avions à réaction qui se déplacent assez rapidement au sol a imposé d'équiper les pistes de sorties à grande vitesse vers les voies de circulation. Au lieu d'être perpendiculaire à la piste, ces sorties forment un angle ouvert avec celle-ci. Ceci est dû au fait qu'on devrait avoir de rayon de courbure plus grand quand la vitesse augmente comme le montre la formule suivante :

$$R = \frac{V^2}{fg}$$

R : rayon de virage en m ;

V : vitesse de circulation de l'avion

– V = 50 à 65 km/h pour les voies de relation

– V = 30 à 35 km/h pour les voies de desserte ;

f : coefficient de frottement des pneus sur la voie de circulation :

$$0,15 \leq f \leq 0,25$$

g : pesanteur, g = 9,8 m/s².

Le plus souvent, la voie de circulation court parallèlement à la piste. A cet effet, elle comportera des bretelles de raccordement espacées de 500 à 600 m afin de dégager la piste immédiatement.

2. Intersections, Congés

Les intersections de voies de circulation entre elles ou avec une piste ou une aire font apparaître des congés de raccordements tels qu'indique la figure ci-dessous.

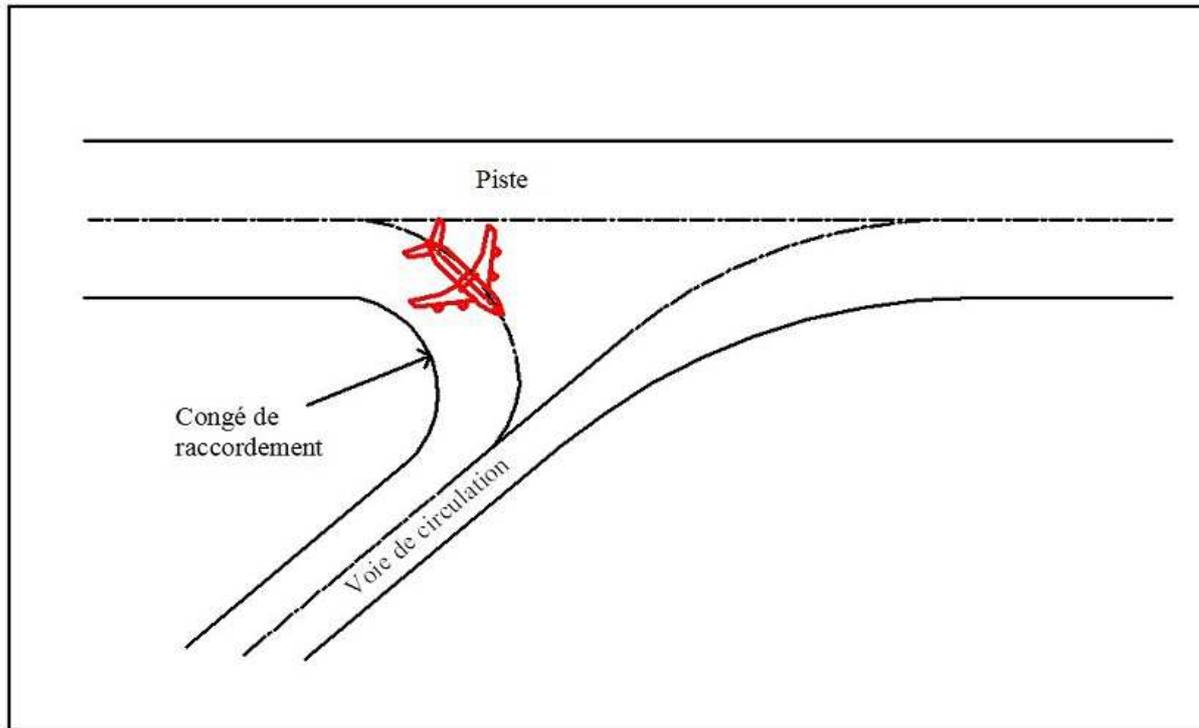


Figure 9: Congés de raccordement

Une disposition des entrées et sorties de piste telle qu'on voit sur la figure permet une circulation rapide sur les pistes et par suite un dégagement rapide.

L'angle fermé correspondant au congé de raccordement est compris entre 25° et 45° , mais il est préférable d'adopter un angle de 30° .

3. Largeur des voies de circulation

a- Marges

La marge est la distance entre le flan extérieur du pneu passant le plus près et le bord de la voie de circulation. L'appareil peut se déplacer à la verticale de l'axe de la voie de circulation.

b- Largeur de base

On estime que la largeur de base de la voie de circulation doit être comprise entre deux et trois fois celle du train d'atterrissage de l'appareil le plus exigeant.

c- Surlageur

Dans les courbes, il convient parfois de prévoir une surlargeur suffisante pour que les appareils qui peuvent être accueillis dans chaque classe d'aérodrome.

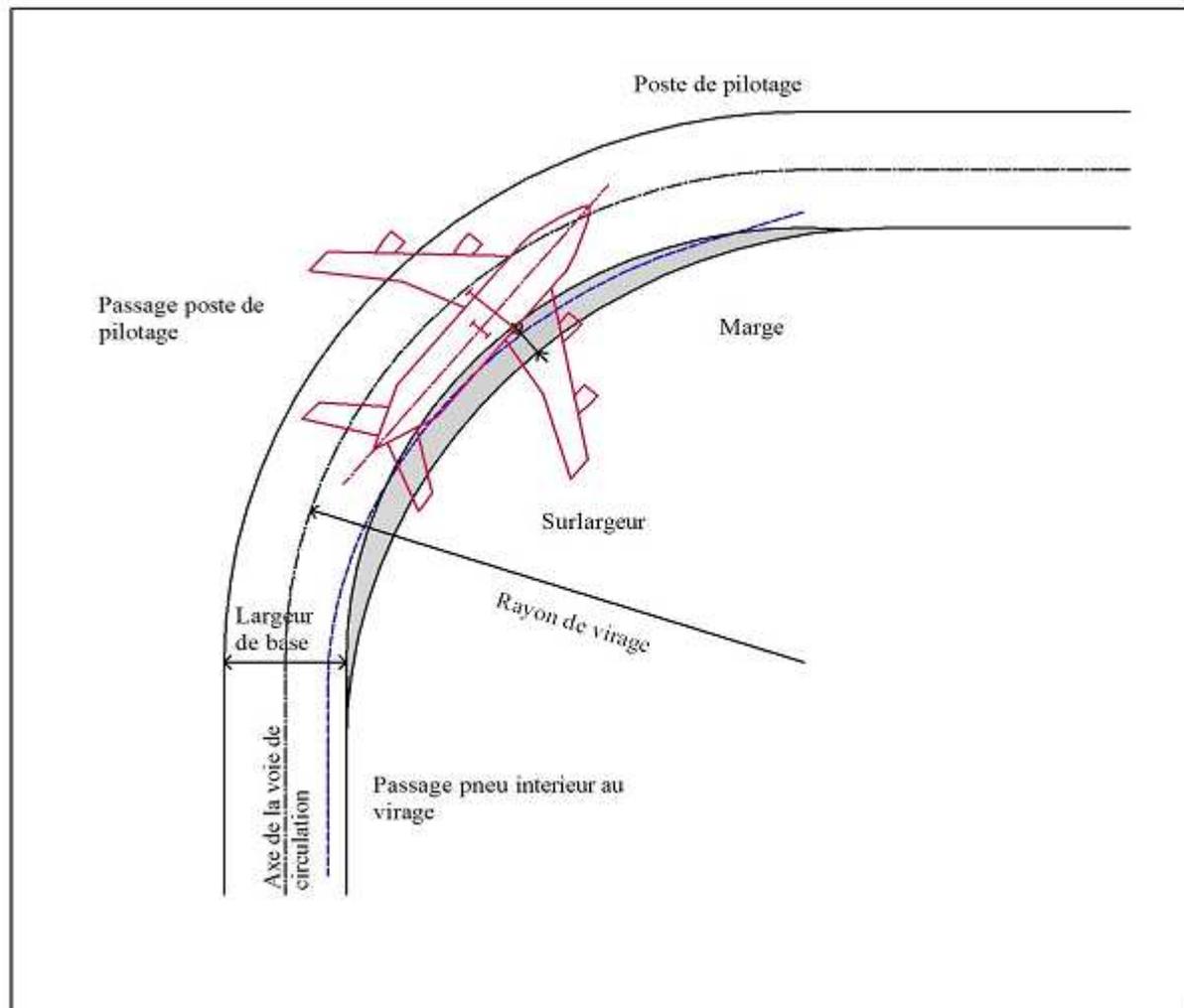


Figure 10: Marge, surlargeur d'une voie de circulation

CONCLUSION PARTIELLE

Les aérodromes civils sont classés suivant leur importance qui est généralement caractérisée par la longueur de la piste. C'est en fonction de cette longueur que l'aéronef peut fréquenter l'aérodrome donné.

L'aérodrome est conçu afin que l'aéronef, qui le fréquente, puisse évoluer librement et en toute sécurité. Cela nécessite de définir l'aire de mouvement qui est composée de la piste d'envol, de la bande d'envol et de la voie de circulation de l'aire de stationnement.

Avant d'entrer à l'étude technique, il est nécessaire de savoir au chapitre suivant la présentation générale du projet

Chapitre III : PRESENTATION GENERALE DU PROJET

I- MONOGRAPHIE DES ZONES D'INFLUENCE

1. Présentation globale

Antsiranana est la plus grande ville du Nord de Madagascar, est aussi le troisième port de la Grande île. Elle est la capitale de l'ex Province. Avec la récente mise en place des vingt-deux Régions en 2004, elle est devenue la capitale de la Région de Diana. Ses habitants s'appellent les Antsirananais.

Antsiranana	
Administration	
Pays	 <u>Madagascar</u>
Région	<u>Diana</u>
Province	<u>Antsiranana</u>
District	<u>Antsiranana I</u>
Géographie	
Coordonnées	 <u>12° 28' 01" Sud</u> <u>49° 28' 01" Est</u> - <u>12.467, 49.467</u>
Démographie	
Population	542600 hab. (est. 2008)



Figure 11: Localisation du projet

a- Géographie

La ville se situe au niveau du Cap d'Ambre (Tanjon'i Bobaomby) dans le Nord de Madagascar aux coordonnées 12.16 S et 49.17 E avec à l'Ouest le Canal du Mozambique et à l'Est l'Océan Indien. Elle est abritée par la baie de Diego-Suarez, l'une des plus belles baies du monde et la deuxième plus grande (156 km de côtes) après celle de Rio de Janeiro.

La baie de Diégo-Suarez est en fait composée de 4 baies de plus petite taille :

- la baie du Tonnerre ;
- la baie des Cailloux Blancs ;
- le Cul de Sac Gallois ;
- la baie des Français (où se situe la ville promontoire de Diégo-Suarez).

Cette spécificité couplée à une position idéale (proximité avec les côtes africaines, Mayotte, l'archipel des Comores et l'archipel des Seychelles) en font un lieu stratégique expliquant le vif intérêt des forces françaises pour le site qui en fait une base navale durant la colonisation.

b- Toponymie

Il existe deux thèses pouvant expliquer le nom de la ville :

- la découverte de la baie par les navigateurs Diego Dias et Fernan Soares et qui lui donnèrent leurs noms ;
- la découverte de la baie en 1543 par l'explorateur portugais du même nom Diégo Suarez.

Avec la malgachisation la ville a retrouvé son nom d'"Antsiranana", le port. Le tout premier nom de Diégo-Suarez ou Antsiranana est Antomboko, qui signifie «troué, perforé» dû à cette baie naturelle qui s'étend sur 156 km. Elle possède aussi son pain de sucre appelé Nosy Lonjo.

c- Histoire

VII^e siècle: premiers vestiges de présence humaine dans la Montagne des Français

XVI^e siècle : découverte de la baie par des explorateurs portugais (cf. les deux théories)

XVII^e siècle : république imaginaire de "Libertalia".

17 Décembre 1885 : signature d'un traité accordant à la France le droit d'occuper le territoire de Diégo-Suarez et d'y faire "des installations à sa convenance".

Les troupes françaises s'installent d'abord à Cap Diégo, puis, pour des raisons de commodité et d'ouverture sur l'arrière-pays, à Antsiranana.

28 Août 1895 : prise par les français du Fort d'Ambohimarina (dans la Montagne des Français) occupé par les troupes de la reine Ranaivalona III

28 Janvier 1896 : Décret rattachant la colonie au gouvernement général de Madagascar.

5 Mai au 7 Mai 1942 : opération "Iron Clad", les Britanniques s'emparent de Diégo-Suarez aux mains des troupes vichystes craignant que ces dernières n'appuient les forces japonaises, alliées de l'Allemagne.

En 1900 : Diégo est déclaré "point d'appui de la flotte". Sous la direction du général Joffre, la ville va rapidement se développer (construction du bassin de radoub, de l'hôpital, du quartier militaire, de l'arsenal)

1946 : les troupes britanniques rétrocèdent la ville à la France.

26 Juin 1960 : l'île devient indépendante, ce jour deviendra la fête nationale.

3 Juin 1974 : retrait de la première troupe française : la légion étrangère, suivi plus tard par les forces navales des unités marines en 1976.

2. Situation sociale

➤ Population

La ville compte environ 542 600 habitants (2008).

Bien qu'elle soit censée être la capitale de l'ethnie Antakarana, « ceux des falaises », Antsiranana est une ville cosmopolite où la diversité de la population est frappante :

- Sakalava, Antankarana (65%) ;
- Comoriens (10%) ;
- Indiens (végétariens, bijoutiers) (2%) ;
- Pakistanais (Importateurs-grossistes) (3%) ;
- Antandroy (5%) ;
- Merina (5%) ;
- Chinois (Importateurs de produits alimentaires) (2,5%) ;
- Yéménites et Somalis (épiciers) (5%) ;
- Européens (2,5%) : Français (coopérants, retraités), Italiens, Suisses.

Cette estimation est statistique visuelle, basée sur l'apparence extérieure.

Avec une superficie de 19 266 km² et d'une densité démographique de 25,2 hab. /km², on peut dire que la région de DIANA est encore moins occupée. Voici le nombre de population recueilli dans les cinq dernières années :

Tableau 7: Evolution de la population (source INSTAT)

Année	2006	2007	2008	2009	2010
Nombre de population	513 350	527 800	542 600	557 750	573 400

On constate aussi que le taux d'accroissement naturel est de 2.8% par ans.

➤ **Urbanisme**

Comme on peut le voir à la toponymie des rues et des lieux, l'urbanisme de la ville est fortement marqué par la présence française.

L'urbanisation s'est faite en trois phases :

↳ **La vieille ville** :

Le village d'Antomboka ou Antsiranana peut être considéré comme le noyau de la ville ou hypercentre. Il était composé d'une vingtaine de paillotes malgaches et a été découvert par François de Mahy en 1885. Ce village fait désormais place à une ville qui s'étend désormais de plus en plus vers le Sud.

↳ **La nouvelle ville** (faite en deux phases):

Avec la colonisation, le village est devenu ville. Celle-ci est orientée vers le Nord-Nord Est et se divise en deux parties :

- L'ancienne ville coloniale: d'abord installée dans la "Ville Basse" serrée sur 4 hectares autour du port, elle s'est ensuite étendue sur le plateau: rue Colbert, quartier militaire, Place Kabary puis, plus tard, quartier de l'Octroi (rue Lafayette) ;
- Les nouveaux quartiers d'extension au Sud (Tanambao I à V, Lazaret, Grand Pavois, SCAMA, Ambalavola, Mahatsara, Morafeno etc. sont autant de quartiers qui gagnent de plus en plus jusque vers Anamakia et Arrachard).

3. Situation économique

La situation de l'économie à Madagascar s'avère mal équilibré. Le tableau ci-après montre l'évolution du taux de croissance économique à Madagascar ces cinq dernières années :

Tableau 8: Le taux de croissance économique

	2001	2002	2003	2004	2005
Taux de croissance économique (%)	6	- 12,7	9,8	5,3	4,6

Source : INSTAT

On constate qu'en 2005, l'expansion de l'activité économique s'est tassée, tombant à 4,6% après une progression de 5,3% en 2004.

Actuellement, le taux de croissance économique est faible et diminue de plus en plus du fait de l'inflation. Pour tenter d'augmenter le taux de croissance économique, le gouvernement a ainsi élaboré le DSRP (Document Stratégique sur la Réduction de la Pauvreté). L'objectif ainsi fixé consiste à atteindre un taux de croissance de 8 à 10% en 2012.

Principaux commerce de Diégo-Suarez :

- **Bœufs** : conserve de viande, extrait de viande, graisse de bœufs, os, corne, peau... ;
- **Culture** : riz, café, vanille... ;
- **Autres produits** : Caoutchouc, bois commun, sel, rhums...

4. Tourismes

D'après le Ministère du Tourisme, le nombre de touristes ne cesse d'augmenter depuis 1992 jusqu'à maintenant avec un rythme de croissance moyenne de 16 % par an, sauf en 2002, période où il y avait des crises politiques à Madagascar. Actuellement ce secteur est le plus vulgarisé par l'Etat pour le développement économique et social du Pays.

Le transport aérien est le principal moyen choisi par les touristes étrangers pour la destination Madagascar. Ainsi, l'évolution des nombres de touristes à Madagascar est montrée par le tableau ci-dessous.

Tableau 9: Evolution du nombre de touristes à Madagascar entre 1992 à 2002

1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
53 655	55 102	65 839	74 619	82 681	100 762	121 207	138 253	160 071	170 208	62 000

Source : Ministère du tourisme 2002

Les recettes touristiques en devises se chiffraient en milliards de FMG, selon le tableau ci-après.

Tableau 10: Recettes en Devises au Titre du Tourisme en Milliards de FMG de 1997 en 2002

1997	1998	1999	2000	2001	2002
731,146	426,293	625,919	821,034	755,500	243,880

Source : Ministère du tourisme 2002

La répartition moyenne de 1997 à 2002 par pays d'origine en pourcentage de visiteurs est présentée dans le Tableau ci-dessous.

Tableau 11: Répartition Moyenne de Visiteurs en % de 1997 à 2002

<i>Français et Réunionnais</i>	<i>Italiens</i>	<i>Allemands</i>	<i>Suisses</i>	<i>Anglais</i>	<i>Américains</i>	<i>Autres</i>
40	8	17	7	5	6	17

Source : Ministère du tourisme 2002

II- ENVIRONNEMENT GEOGRAPHIQUE D'ANTSIRANANA

1. Géologie

Une base marneuse porte des coulées de roches volcaniques issues de la Montagne d'Ambre, située plus au Sud. La ville d'Antsiranana et l'aéroport d'Andrakaka, notamment, sont situés sur de telles coulées. Plus à l'Ouest, une base gréseuse est surmontée par des calcaires ; plus au Nord, une base de roches volcaniques très altérées est surmontée par des calcaires aquitano-burdigaliens. Ceci explique le caractère très souvent tabulaire des reliefs de la région.

Il semble que les différentes anses de la Baie de Diego-Suarez aient été d'anciennes vallées fluviales, envahies par la mer lorsque la zone s'est enfoncée progressivement : il s'agirait donc d'un ensemble de rias.

2. Climat de la baie de Diégo-Suarez

a- Pluviométrie

La quantité de pluie est répartie sur toute l'année. On peut rencontrer la plus forte pluie durant les mois de Janvier à Mars. La pluviométrie de l'année 2010 peut être donnée dans le tableau suivant :

Tableau 12: Précipitation mensuelle de l'année 2010 en 1/10 de mm

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
Pluie (mm)	405,7	100,6	159,3	13,2	18,6	55,5	3,1	30,3	10,4	4,1	95,5	18	914.3
Nombre de jour	20	11	19	4	13	7	4	7	3	4	4	3	99

Source : Services Météorologiques et Hydrologiques de Madagascar

b- Température

La température mensuelle maximum et minimum de l'année 2010 sont données dans le tableau suivant :

Tableau 13: Température mensuelle de l'année 2010 en [°C]

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T° maximum	30,8	31,9	31,3	32	31,7	29,9	29,3	29,4	29,6	31,5	32,1	31,4
T° minimum	23	23,9	23,3	23,2	22,6	21,8	19,7	19,8	20,2	21,2	22,3	22,9

Source : Services Météorologiques et Hydrologiques de Madagascar

Mémoire de fin d'études : Généralités et études préliminaires

D'après ce tableau ANTSIRANANA a un climat chaud avec une température moyenne de 30,9°C. Le mois le plus chaud de l'année tombe en Novembre qui a une moyenne mensuelle des températures maximales quotidiennes de 32,1°C.

c- L'humidité relative, la pression et la tension de vapeur

Tableau 14: L'humidité relative, la pression et la tension de vapeur de l'année 2010

Mois	Humidité relative [%]	Pression [HPa]	Tension de vapeur [HPa]
Janvier	82	1010,6	27,6
Février	84	1010	28,2
Mars	80	1010,7	27,2
Avril	78	1011,5	26,7
Mai	72	1013,6	23,4
Juin	70	1015,5	21
Juillet	69	1016,4	20
Août	66	1016,6	19
Septembre	66	1015,9	19,8
Octobre	67	1014,7	21,5
Novembre	70	1013,1	23,9
Décembre	77	1011,6	26,7

Source : Services Météorologiques et Hydrologiques de Madagascar

On constate que l'humidité relative et la tension de vapeur sont les plus faibles au mois d'Août (66% et 19HPa), mais c'est à ce mois que la pression atteint son maximum. Donc on peut en conclure que si l'humidité relative et la tension de vapeur diminue et la pression augmente.

d- Vents

Tableau 15: La vitesse du vent et la température de l'aire

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vitesse [m/s]	3,9	3,4	3,9	5,0	5,9	6,1	7,3	8,1	8,4	7,6	6,1	4,8
Température [°C]	26	26	26,2	26,3	25,4	24,1	23,5	23,4	24,1	25,2	26,3	26,5

Source : Services Météorologiques et Hydrologiques de Madagascar

On peut tirer de ce tableau que si la vitesse du vent est en baisse alors la température de l'aire est en hausse.

3. Hydrographie

Sur le domaine hydrologique la Région d'ANTSIRANANA est limitée au Nord, à l'Est et à l'Ouest par la mer et au Sud par la rivière Rodo qui la sépare de la province de Vohémar. Étant donné que plus de la moitié des rivières de la région prennent source dans le massif d'Ambre, elles se déversent par contre dans trois régions bien distinctes dont :

- ✓ A l'Ouest dans le Canal de Mozambique comme Ambararata, Angokely, Manangava ;
- ✓ A l'Est dans l'Océan Indien comme Besokira, Sankazo, Tsararena ;
- ✓ Dans le Baie de Diégo-Suarez comme la rivière des Macques, Anamakia, rivière des Caimans, rivière de la Betaitra.

III- HISTORIQUE DE L'AERODROME D'ANDRAKAKA

Le 11 Mars 1960 : L'Aérodrome d'ANDRAKAKA ANTSIRANANA a subi sa première construction avec une longueur de 1960m et un largeur de 50 m. elle est constitué d'une piste en terre de latérite ;

En 1975 : L'Aérodrome a subi une réhabilitation et mise en place de la couche de roulement en enrobé et exploitation de la piste par les avions militaires « MIG » ;

Vers 1980 : Il y a eu la sortie de NOTAM qui exigeait l'utilisation de la piste pour 2200m seulement. Mais comme la force portante de la piste était assez bonne, son exploitation pouvait se faire avec des avions comme le DC4, MD315, MH1521, C337, NORD2501 Bimoteur, Transall C160 ;

En 2002 : Cette piste était opérationnelle par un ANTONOV 26 qui a une masse de 50 tonne environ. On a constaté qu'avec ce type d'avion la piste avait une bonne réception et des meilleures salutations.

IV- GEOGRAPHIE ET CARACTERISTIQUES DE L'AERODROME

1. Localisation

L'aéroport militaire d'ANDRAKAKA ANTSIRANANA se situe à une latitude de 12°15'05''S et une longitude de 49°15'E et d'une altitude de 61m. Son axe est orienté de 7° par rapport au Nord magnétique. Il se trouve à environ à 44 km de la ville d'ANTSIRANANA.



Figure 12: Localisation du site

2. Les infrastructures aéroportuaires

L'aérodrome d'Andrakaka a les caractéristiques suivantes :

- **Superficie** : 130ha
- **Code de référence** : Le code de référence est 1D
 - PCN : 24/F/B/Z/U ;
 - Distance de référence : 795m ;
 - Envergure : 40m ;
 - Largeur hors tout du Train d'atterrissage principal : 5,10m.

a- Piste

La piste étant réhabilité en 1980 à recevoir des avions comme le Transall C160, DC4, MD315, MH 1521, C 337, C 47, NORD 2501, il lui est nécessaire d'avoir les dimensions suivantes :

- Longueur : 2500m dont 300m de chaussée rigide et 2200m de chaussée souple.
- Largueur : 45m d'après le tableau 3 précédent à cause de code de référence.

b- Aire de stationnement

L'aire de stationnement qui a servis de point de ravitaillement pour l'armée, ne relie qu'un seul bâtiment qui est l'hangar. Elle n'a pas besoin d'avoir une grande surface et ses dimensions sont comme suit :

- Longueur : 200m
- Largueur : 100m

c- Voie de circulation

La voie de circulation est la route qui relie la piste à l'aire de stationnement.

Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Longueur : 107m
- Largueur : 28m

3. Surface de limitation d'obstacle

Compte tenu du code de référence 1D ; les surfaces de limitation d'obstacles qui seront établies pour les pistes avec approche classique sont les suivantes :

- Surface conique

C'est la surface à l'intérieur duquel le pilote d'un avion devrait pouvoir rejoindre, vent arrière et parallèlement à la piste, l'axe d'atterrissage dont l'orientation lui est indiquée par la manche à vent.

Les caractéristiques de la surface conique de l'aérodrome d'Andrakaka sont les suivantes :

- Pente : 5%
- Hauteur : 60m

- Surface horizontale intérieure

Elle sert de directrice à la surface conique car c'est dans cette surface que l'avion effectue son virage pour pouvoir exécuter les différentes manœuvres dans la surface conique.

Les caractéristiques de la surface horizontale intérieure de code de référence D1 sont :

- Hauteur : 45m
- Rayon : 3500m

- Surface d'approche

La surface d'approche ou trouée d'atterrissage est la surface dans laquelle l'aéronef plane, lorsque l'atterrissage s'effectue dans l'alignement de l'axe.

Les caractéristiques de la surface d'approche qui a été exploitée par un appareil avec une approche classique sont les suivantes :

- Longueur du bord intérieur : 150m
- Distance au seuil : 60m
- Divergence (de part et d'autre) : 15%

- Première section

- Longueur : 2500m
- Pente : 3,33%
- Altitude de la piste : 61m
- Altitude admissible à 2500m : $(2500 \times 0,0333) + 61 = 144,25\text{m}$

Obstacle du site

A 7045m du seuil 13, se dresse la colline d'Ambre à 268m d'altitude, or cette distance n'est plus incluse dans la limitation d'obstacle donc l'atterrissage ne sera pas gêné.

- Surface de transition

La surface de transition ou surface latérale est l'endroit dans lequel l'appareil se met en pente pour pouvoir atteindre l'axe de la piste.

Étant donné que la piste a été exploitée par un avion utilisant une approche classique, d'où on peut obtenir :

- Pente : 20%

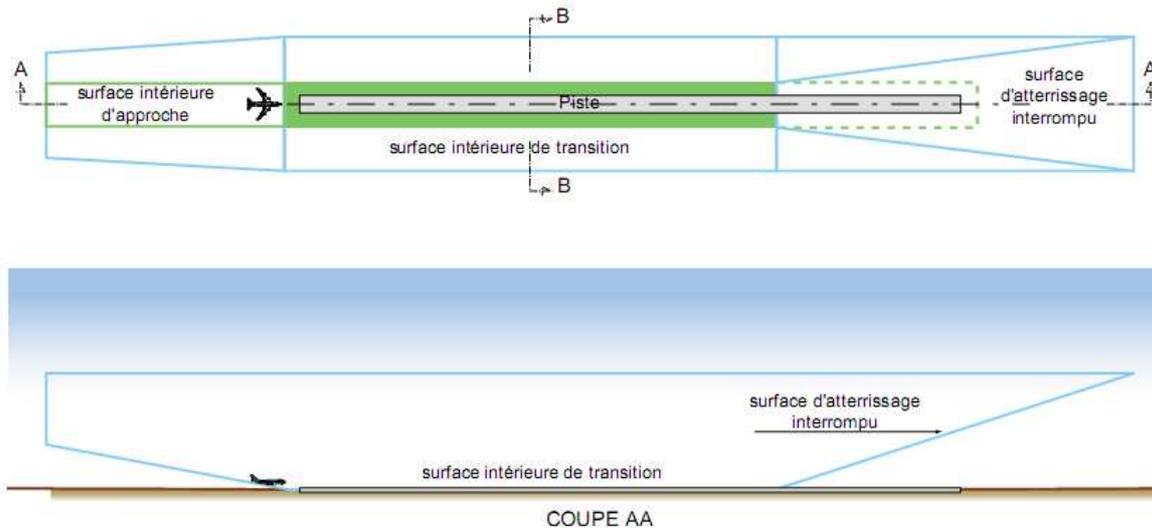


Figure 13: Surface intérieure d'approche, surfaces intérieures de transition et surface d'atterrissage interrompu

- Surface de montée au décollage pour un aéroport de chiffre de code 1

La surface de montée au décollage ou la trouée de décollage est le lieu où l'aéronef plane lorsque le décollage reste dans le prolongement de l'axe de la piste.

Ces caractéristiques selon sa code chiffre sont les suivantes :

- Longueur du bord intérieur : 60m
- Distance par rapport à l'extrémité de la piste : 30m
- Divergence (de part et d'autre) : 10%
- Largeur finale : 380m
- Longueur : 1600m
- Pente : 5%

V- ETUDE ET PREVISION DES TRAFICS

Le trafic aérien comprend les mouvements des avions, le trafic passagers et le trafic fret. Dans ce projet, l'étude de l'évolution de ces trafics est nécessaire car elle permet d'évaluer la fréquence des avions utilisant l'aérodrome et les flux des passagers et des frets de l'aéroport.

De ces valeurs, on estime le trafic futur et le calcul de la prévision du trafic se fait sur 10 à 20 ans après la réalisation du projet. Ces deux temps correspondent respectivement, d'après l'OACI, à la durée de vie d'une chaussée souple et d'une chaussée rigide d'un aérodrome. Supposons que le projet soit réalisé en 2012, on déterminera alors le trafic futur de 2022 et 2032.

Comme dans la région d'ANTSIRANANA il n'y a que des trafics nationaux pour pouvoir déterminer le trafic futur du nouvel aéroport. On va utiliser comme référence le trafic de l'aérodrome d'Ivato jusqu'à 2002.

1. Etude des trafics

➤ **Trafic des mouvements des avions :**

Un mouvement d'avion est constitué d'un atterrissage et un décollage. Les données sur le nombre de mouvements des avions pendant 10 ans (c'est-à-dire de 1992 à 2002) sont fournies par le Service de la Statistique d'ADEMA. Les évolutions y afférentes sont montrées dans le Tableau ci-dessous.

Ces données concernent les réseaux :

- national : vol intérieur de Madagascar ;
- régional : vol moyen courrier, intéressant les îles de l'océan indien (La Réunion, Maurice, Seychelles, Comores) et quelques pays de l'Afrique proches de Madagascar (Afrique du Sud : Johannesburg, Kenya : Nairobi) ;
- international : vol long courrier reliant Madagascar avec l'Europe (exemple : Paris Charles de Gaulle et Orly) et l'Asie du Sud-est (exemple : Singapour).

Les transports sont assurés en grande partie par 6 compagnies aériennes : Air Madagascar, Air France, Air Austral, Air Mauritius, CORSAIR et Inter Air.

Tableau 16: Mouvements des avions de 1992 à 2002

<i>Année</i>	<i>National</i>	<i>Régional</i>	<i>International</i>	<i>Total</i>
1992	4 642	1 096	508	6 246
1993	5 835	1 264	501	7 600
1994	6 008	1 332	538	7 878
1995	6 375	1 439	547	8 361
1996	6 216	1 330	574	8 120
1997	6 886	1 526	641	9 053
1998	7 353	1 751	879	9 983
1999	8 384	1 755	1 046	11 185
2000	8 514	1 749	1 128	11 391
2001	8 163	1 845	1 211	11 219
2002	4 219	1 698	500	6 417

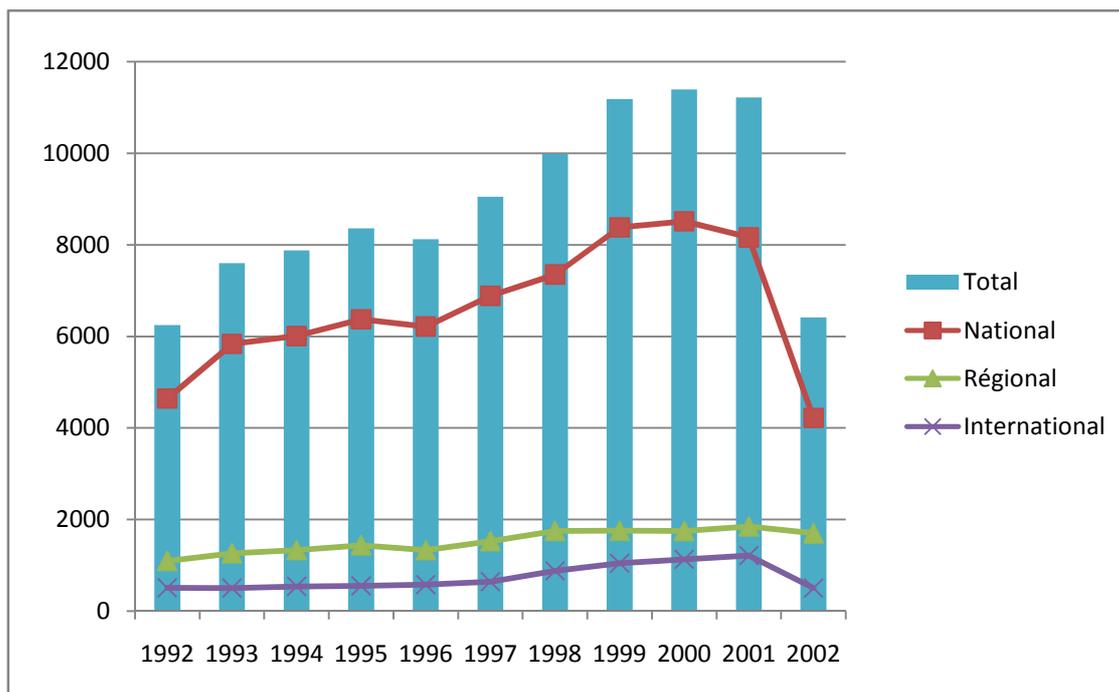


Figure 14: Diagrammes de trafic des avions de 1992 à 2002

➤ **Trafic passagers :**

Le trafic passager se traduit par le nombre annuel des passagers qui ont effectué un départ ou une arrivée à l'aéroport par le biais des avions. Le flux des passagers de 1992 à 2002 est montré par le tableau suivant.

Tableau 17: Flux des passagers entre 1992 à 2002

<i>Année</i>	<i>National</i>	<i>Régional</i>	<i>International</i>	<i>Total</i>
1992	167 124	79 634	71 949	318 707
1993	207 155	97 978	76 132	381 265
1994	255 454	98 602	88 425	442 481
1995	271 467	100 687	97 514	469 668
1996	292 654	109 020	102 633	504 307
1997	321 310	120 473	131 652	573 435
1998	316 277	131 639	155 461	603 377
1999	345 616	126 069	194 970	666 655
2000	351 799	134 632	203 916	690 347
2001	348 098	131 988	218 150	698 236
2002	136 631	109 564	73 951	320 146

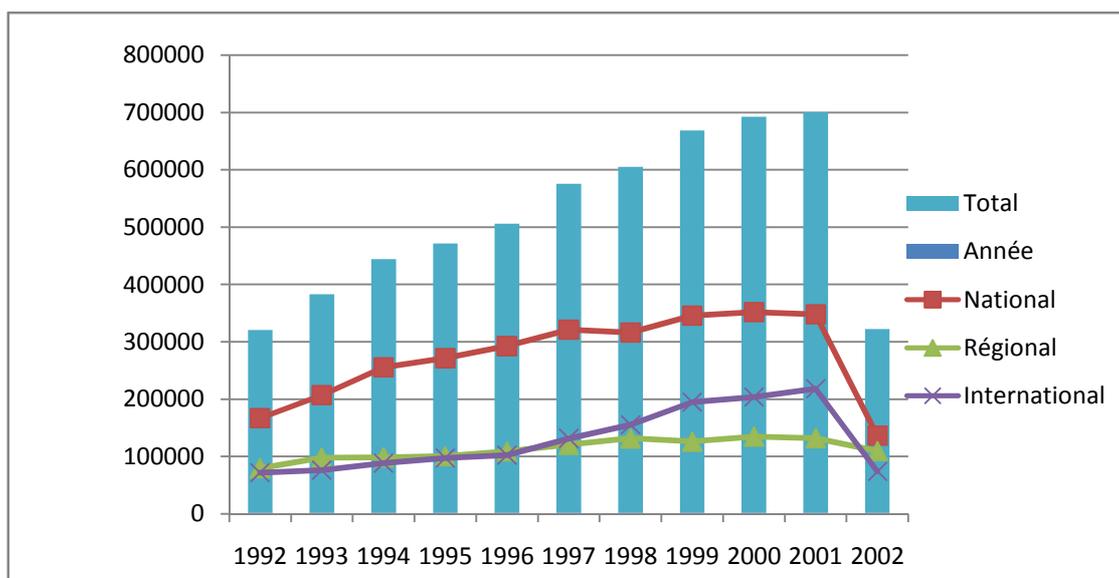


Figure 15: Trafics passagers entre 1992 à 2002

➤ **Trafics frets**

Les frets constituent les marchandises évaluées en tonnes embarquées ou débarquées par les avions et enregistrées dans l'aéroport. Le Tableau ci-dessous récapitule l'évolution des frets de 1992 à 2002.

Tableau 18 : Quantités des frets annuels entre 1992 à 2002 en Tonne

<i>Année</i>	<i>National</i>	<i>Régional</i>	<i>International</i>	<i>Total</i>
1992	1 186	1 282	4 954	7 422
1993	1 359	1 716	5 624	8 699
1994	1 718	2 116	5 763	9 597
1995	1 769	2 516	5 015	9 300
1996	1 753	3 050	5 200	10 003
1997	1 938	4 116	5 508	11 562
1998	1 822	4 416	6 661	12 899
1999	1 748	3 651	8 009	13 408
2000	1 812	4 407	8 397	14 616
2001	1 851	4 108	9 278	15 237
2002	1 963	4 954	6 147	13 064

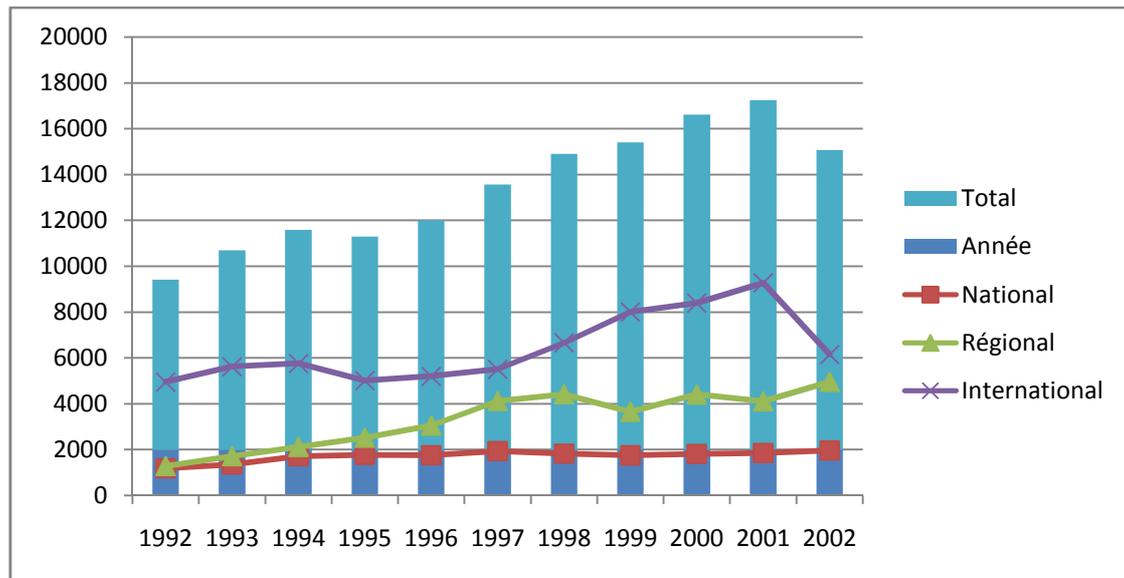


Figure 16: Trafic de fret entre 1992 à 2002

2. Prévision des trafics

a- Généralités

On a eu recours aux méthodes statistiques en mathématiques pour le calcul de prévision des futurs trafics. A partir des données disponibles, on détermine une équation de régression de telle manière que ces données sont bien corrélées entre elles.

La méthode consiste alors à déterminer un modèle adéquat parmi les différents modèles existants. Dans le cas du trafic aérien, les modèles les plus utilisés sont le modèle linéaire et le modèle exponentiel. Le modèle à retenir est donc celui qui donne un grand coefficient de corrélation.

D'après les études du trafic des paragraphes précédents, on peut observer que les données correspondantes à l'année 2002(année de crise) ont subi une soudaine diminution à cause du phénomène exceptionnel à court terme qui s'est passé dans notre pays. Un tel phénomène n'est pas envisageable dans les calculs de prévision statistique et il affecte beaucoup les résultats. Or, d'après la logique des graphiques, dès l'année 1992, les trafics s'accroissent toujours et en plus, actuellement notre économie est en voie de redressement progressif.

Ainsi, on ne tient pas compte des données obtenues en 2002 dans les calculs des prévisions qui suivent, et on s'arrête à celles disponibles entre 1992 et 2001 où les trafics sont normaux malgré des légères hausses constatées en 1995 et 1996.

Le calcul de prévision se fait en procédant aux étapes suivantes :

- choix du modèle ;
- construction du predictor ou de l'équation de projection ;
- vérification de la corrélation entre les valeurs.

b- Modèle linéaire

La fonction de développement linéaire est de la forme $y = at + b$ dans laquelle $y(t)$ sont les valeurs passées et t le temps.

L'hypothèse de calcul est que la variation de y par rapport au temps t soit égale à une constante a . Les coefficients a et b sont respectivement la vitesse de développement de y et la valeur initiale de y et sont déterminés par :

$$a = \frac{\sum(y_i - \bar{y})(t_i - \bar{t})}{\sum(t_i - \bar{t})^2}$$

$$\text{Et : } b = \bar{y} - a\bar{t}$$

\bar{y} et \bar{t} sont les moyennes arithmétiques de y et de t , telles que :

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_i y_i$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_i t_i$$

n : le nombre d'observation des données.

D'où la valeur de y au moment $t_0 + \theta$ est :

$$y(t_0 + \theta) = a(t_0 + \theta) + b$$

Le coefficient de corrélation entre y et t est calculé par :

$$r_{y,t} = \frac{\sum_{i=0}^n (t_i - \bar{t})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (t_i - \bar{t})^2 (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$\text{Avec : } 0 \leq r_{y,t} \leq 1$$

Le modèle linéaire est convenable lorsque $r > 0,85$. Dans le cas contraire, il faut essayer d'autres modèles permettant d'avoir un coefficient qui tend vers 1.

c- Le modèle exponentiel

La fonction exponentielle de développement est $y(t) = e^{at} \cdot e^b$ ou bien $\ln [y(t)] = at + b$ en supposant que la variation de y par rapport au temps soit proportionnelle à $y(t)$, c'est-à-dire :

$$\frac{dy}{dt} = ay(t)$$

La vitesse de développement a et la valeur initiale de y sont déterminées par les équations suivantes :

$$a = \frac{\sum(Lny_i - \overline{Lny})(t_i - \bar{t})}{\sum(t_i - \bar{t})^2}$$

$$b = \overline{Lny} - a\bar{t}$$

Avec :

$$\overline{Lny} = \frac{1}{n} \sum_i Lny_i$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_i t_i$$

Le coefficient de corrélation est cette fois-ci :

$$r_{Lny,t} = \frac{\sum_{i=0}^n (t_i - \bar{t})(Lny_i - \overline{Lny})}{\sqrt{\sum_{i=0}^n (t_i - \bar{t})^2 (Lny_i - \overline{Lny})^2}}$$

$$\text{Avec : } 0 \leq r_{Lny,t} \leq 1$$

Le modèle exponentiel comme celui de linéaire est de même valable lorsque $r_{Lny,t} \geq 0,85$.

d- Calcul de prévision proprement dits

On doit se rappeler qu'on s'intéresse aux valeurs des trafics de l'an 2022 et 2032 qui sont des années correspondant à 10 et 20 à partir de 2012, l'année supposée où le projet commence.

En tenant compte des données du trafic passé de 1992 à 2002 et en utilisant les méthodes de calcul de prévision précédentes, on va alors estimer les trafics selon le type du réseau. Les tableaux suivants montrent les données existantes et celles projetées.

➤ Trafic de mouvements des avions

– pour le réseau national :

Tableau 19: Mouvement des avions du réseau national entre 1992 à 2001

<i>Année</i>	<i>1992</i>	<i>1993</i>	<i>1994</i>	<i>1995</i>	<i>1996</i>	<i>1997</i>	<i>1998</i>	<i>1999</i>	<i>2000</i>	<i>2001</i>
<i>National</i>	4 642	5 835	6 008	6 375	6 216	6 886	7 353	8 384	8 514	8 163

Mémoire de fin d'études : Généralités et études préliminaires

Après calcul, on a :

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 6\,837,6 ; \overline{Ln y} = 8,81.$$

$$r_{y,t} = 0,958 ; r_{y,Lnt} = 0,951$$

$r_{y,t} > r_{y,Lnt}$ Et $r_{y,t} > 0,85$ alors :

$$y = 399,55x - 79\,0867$$

D'où le mouvement des avions futur est :

Tableau 20: Prédiction des mouvements des avions de 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	13 028	17 024	21 019

– pour le réseau régional :

Tableau 21: Mouvement des avions du réseau régional entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Régional	1 096	1 264	1 332	1 439	1 330	1 526	1 751	1 755	1 749	1 845

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 1\,508,7 ; \overline{Ln y} = 7,306.$$

$$r_{y,t} = 0,960 ; r_{y,Lnt} = 0,955$$

$r_{y,t} > r_{y,Lnt}$ et $r_{y,t} > 0,85$ alors :

$$y = 81,11x - 16\,0425,6$$

D'où le trafic des avions futur est :

Tableau 22: Mouvements des avions régionaux entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	2 768	3 579	4 390

– pour le réseau international :

Tableau 23: Mouvement des avions internationaux entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
International	508	501	538	547	574	641	879	1 046	1 128	1 211

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 757,3 ; \overline{Ln y} = 6,571.$$

$$r_{y,t} = 0,936 ; r_{y,Lnt} = 0,951$$

Alors :

$$Ln(y) = 0,111x - 215,553$$

Tableau 24: Mouvement des avions entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	2 390	7 252	22 005

Récapitulation des mouvements des avions entre 2012 à 2032 :

Tableau 25: Trafics des mouvements des avions entre 2012 à 2032

Année	National	Régional	International	Total
2012	13 028	2 768	2 390	18 186
2022	17 024	3 579	7 252	27 855
2032	21 019	4 390	22 005	47 414

➤ **Trafic passagers**

– pour le réseau national :

Tableau 26: Trafic passagers nationaux

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
National	167 124	207 155	255 454	271 467	292 654	321 310	316 277	345 616	351 799	348 098

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 287\,695,4 ; \overline{Ln y} = 12,54.$$

$$r_{y,t} = 0,952 ; r_{y,Lnt} = 0,922$$

$r_{y,t} > r_{y,Lnt}$ et $r_{y,t} > 0,85$ alors :

$$y = 19\,728,303x - 39\,099\,861,6$$

Tableau 27: Trafics passagers 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	593 485	790 768	988 051

Mémoire de fin d'études : Généralités et études préliminaires

– pour le réseau régional :

Tableau 28: Trafics passagers régionaux entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Régional	79 634	97 978	98 602	100 687	109 020	120 473	131 639	126 069	134 632	131 988

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 113\,072,2 ; \overline{Ln y} = 11,623.$$

$$r_{y,t} = 0,956 ; r_{y,Lnt} = 0,946$$

$r_{y,t} > r_{y,Lnt}$ et $r_{y,t} > 0,85$ alors :

$$y = 5\,875,2x - 11\,616\,764,6$$

Tableau 29: Trafics passagers régionaux entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	204 138	262 890	321 642

– pour le réseau international :

Tableau 30: Trafics passagers internationaux entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
International	71 949	76 132	88 425	97 514	102 633	131 652	155 461	194 970	203 916	218 150

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 134\,080,2 ; \overline{Ln y} = 11,728.$$

$$r_{y,t} = 0,974 ; r_{y,Lnt} = 0,988$$

$r_{y,t} < r_{y,Lnt}$

$$Ln(y) = 0,136x - 260,296$$

Tableau 31: Trafics passagers entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	619 086	2 412 080	9 397 930

Récapitulation des trafics passagers entre 2012 à 2032 :

Tableau 32: Trafics passagers entre 2012 à 2032

Année	National	Régional	International	Total
2012	593 485	204 138	619 086	1 416 709
2022	790 768	262 890	2 412 080	3 465 738
2032	988 051	321 642	9 397 930	10 707 623

➤ **Trafic frets :**

– pour le réseau national :

Tableau 33: Trafics frets nationaux en Tonne entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
National	1 186	1 359	1 718	1 769	1 753	1 938	1 822	1 748	1 812	1 851

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 1\,695,6 ; \overline{Ln y} = 7,426$$

$$r_{y,t} = 0,753 ; r_{y,Lnt} = 0,748$$

Les deux valeurs des corrélations obtenues sont inférieures à 0,85 donc les deux modèles ne sont pas valables. Mais, on peut remarquer que l'épidémie de choléra de 1999 a fait chuter considérablement le fret. Donc, pour avoir une bonne projection des données, en suivant la logique du graphique, on va considérer seulement les années 1992 à 1998.

D'où :

$$r_{y,t} = 0,882 ; r_{y,Lnt} = 0,872$$

$$y = 110,750x - 219\,296,964$$

Tableau 34: Trafics frets du réseau national en Tonne entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	3 532.036	4 639.536	5 747.036

– pour le réseau régional :

Tableau 35: Trafics frets du réseau régional en Tonne entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Régional	1 282	1 716	2 116	2 516	3 050	4 116	4 416	3 651	4 407	4 108

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 3\,137,8 ; \overline{Ln y} = 7,974$$

$$r_{y,t} = 0,921 ; r_{y,Lnt} = 0,917$$

$$y = 355,83x - 707\,277,4$$

Tableau 36: Trafics frets du réseau régional en Tonne entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	8 652.56	12 210.86	15 769.16

– pour le réseau international :

Tableau 37: Trafics frets du réseau international en Tonne entre 1992 à 2001

Année	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
International	4 954	5 624	5 763	5 015	5 200	5 508	6 661	8 009	8 397	9 278

$$\bar{X} = 1\,996,5 ; \bar{Y} = 6\,440,9 ; \overline{Ln y} = 8,746$$

$$r_{y,t} = 0,875 ; r_{y,Lnt} = 0,876$$

$$Ln(y) = 0,067x - 124,445$$

Tableau 38: Trafics frets du réseau international en Tonne entre 2012 à 2032

Année	2012	2022	2032
Nombres des mouvements	31 539.62	61 635.914	12 0451.20

Récapitulation des trafics frets entre 2012 à 2032 :

Tableau 39: Trafics frets en Tonne entre 2012 à 2032

Année	National	Régional	International	Total
2012	3 532,036	8 652,560	31 539,620	43 724,216
2022	4 639,536	12 210,860	61 635,914	78 486,310
2032	5 747,036	15 769,160	120 451,200	141 967,396

TRAFICS TOTAUX ENTRE 2012 – 2032 :

Tableau 40: Trafics totaux entre 2012 à 2032

Trafics	2012	2022	2032
Avions	18 186	27 855	47 414
Passagers	1 416 709	3 465 738	10 707 623
Frets (T)	43 724,216	78 486,31	141 967,396

CONCLUSION PARTIELLE

L'aérodrome d'Andrakaka est l'aérodrome militaire d'ANTSIRANANA. Avec ses 2500 m de longueur et 45 m de largeur, il est classé dans la catégorie B et son code de référence est 1D.

Malgré le déclin du trafic suite aux événements politiques de 2002, Madagascar se redresse rapidement et reprend une allure croissante en période normale.

L'étude du trafic des années 1992 à 2002 a permis de prévoir le trafic futur (2012 à 2032) à l'aide des modèles mathématiques traduisant l'évolution du trafic sous forme d'une droite linéaire ou une courbe exponentielle.

D'après les prévisions, le trafic passager pour le réseau international aura une évolution rapide. Cela est dû essentiellement à la forte augmentation des visiteurs étrangers effectuant un séjour touristique. Ce qui aurait pour effet d'augmenter le nombre de mouvements du réseau international ou utiliser un aéronef de grande capacité comme l'Airbus A380-800 qui est capable de transporter jusqu'à 855 passagers. Cependant, avec les infrastructures de l'aérodrome existant, cet appareil ne peut encore le fréquenter. D'où la nécessité d'étendre les aires aéronautiques de l'aérodrome.

Donc on va voir ci-dessous l'analyse technique et les solutions qu'on peut proposer

PARTIE II : ANALYSE TECHNIQUE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS

Chapitre I : LES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

I- DEFINITIONS

Les chaussées aéronautiques représentent l'ensemble des aires sur lesquelles circulent, manœuvrent et stationnent des avions.

Une chaussée comporte en général 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 ;
- éventuellement une couche de forme ou sous-couche.

La couche de surface doit supporter les agressions de surface sans dégradation rapide, à savoir :

- résister aux actions tangentielles susceptibles de provoquer un glissement des couches ;
- résister aux efforts d'arrachement des granulats ;
- résister aux efforts dynamiques susceptibles de briser les granulats puis libérer du liant ;
- résister au fluage ;
- transmettre de très fortes pressions ;
- imperméabiliser la chaussée.

La couche de surface doit également présenter des bonnes caractéristiques fonctionnelles : rugueuse et unie.

On distingue principalement deux types de chaussées: les chaussées souples et les chaussées rigides. Par le jeu des renforcements successifs, d'autres cas complexes se présentent (couches bitumineuses sur dalles en béton, superposition de dalles de béton).

1. Chaussées souples

On appelle chaussées souples, les chaussées constituées principalement de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches de matériaux non traités.

Une chaussée souple est constituée par des couches inférieures (couche de base et couche de fondation) réalisées à l'aide des matériaux souples. . Le dimensionnement de ce

type de chaussées est basé sur l'hypothèse que l'endommagement de la chaussée proviendrait de la rupture du sol support.



Figure 17: Les différentes couches d'une chaussée souple

Le sol support est caractérisé par son indice portant CBR qui caractérise sa résistance aux déformations.

2. Chaussées rigides

On appelle chaussées rigides, des chaussées comportant en couche supérieure des matériaux traités au liant hydraulique (béton de ciment essentiellement). Elle est constituée d'une couche de roulement et d'une couche de base réalisée en béton de ciment et une couche de fondation en béton maigre. La nature du béton hydraulique fait que la rigidité des dalles qui constituent la partie supérieure de la chaussée protège le sol support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce en premier lieu dans la dalle par excès de contraintes.

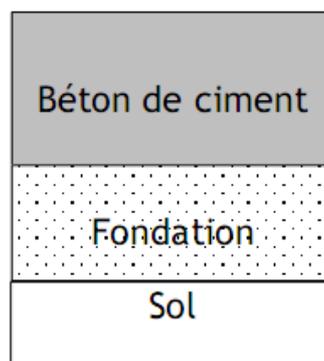


Figure 18: Les différentes couches d'une chaussée rigide

La couche de roulement et la couche de base sont réalisées avec des dalles de béton rectangulaires qui sont reliées entre elles par des joints goujonnés.

La couche de fondation doit :

- résister à l'abrasion ;
- être insensible à l'eau ;
- garantir la résistance au pompage qui est un phénomène selon lequel les efforts des charges en coin de dalle érodent la fondation et créent des particules fines. Ces dernières, en présence d'eau mise sous pression par le fléchissement de la dalle, sont rejetées en surface au droit des joints. Tout ceci entraîne par la suite des formations de cavité, sources de fatigue accélérée de la structure.

L'épaisseur habituelle attribuée à la couche de fondation est de 20 cm.

Le sol support est caractérisé par son module de réaction qui représente la résistance du sol sous l'effet d'une plaque.

3. Comparaison entre les chaussées souples et rigides

Les chaussées souples et rigides ont chacun leur avantage et leur inconvénient qu'on peut déterminer dans le tableau suivant :

Tableau 41: Les avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides

Chaussée souple		Chaussée rigide	
Avantages	Inconvénients	Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">☒ Absences de joints.☒ Entretien et réparations faciles.☒ Correction facile en cas d'erreur dans le projet.	<ul style="list-style-type: none">☒ Entretien plus onéreux.☒ Couches de fondations plus épaisses, d'où plus grande quantité de matériaux.☒ Couleurs sombres.☒ Mauvaise résistance aux solvants et à la chaleur d'où plus particulièrement aux réacteurs.	<ul style="list-style-type: none">☒ Moins de terrassement et moins de matériaux.☒ Peu ou pas d'entretien dans les dix premières années.☒ Résistance aux solvants et réacteurs.☒ Teintes claires.	<ul style="list-style-type: none">☒ En général transports de matériaux plus longs, donc plus onéreux.☒ Réparations plus délicates et coûteuses.☒ Renforcement difficile en cas d'erreur dans le projet.

4. Particularités des chaussées aéronautiques par rapport aux chaussées routières

Les chaussées aéronautiques ont des spécificités qui les différencient des chaussées routières bien que les matériaux et méthodes de mise en place soient quasiment identiques.

a- Les charges à supporter

Pour les aérodromes importants, les charges à supporter sont largement supérieures à la charge routière, pouvant aller jusqu'à 10 fois plus contraignante que l'essieu de 13 tonnes. De ce fait, les chaussées d'aérodromes sont, en général, beaucoup plus épaisses que les chaussées routières.

b- Le trafic

Le trafic sur les pistes d'aérodrome est largement inférieur au trafic d'une route. En effet, la route est dimensionnée pour un volume de trafic total de l'ordre de 10^5 à 10^7 véhicules alors que les pistes d'aérodromes serviront pour 10^2 à 10^3 mouvements.

c- La pression exercée sur le sol

La pression de gonflage des pneumatiques des véhicules routiers est de l'ordre de 1.5 à 2 kg/m² tandis que les pressions de gonflage des pneus des avions atteignent souvent 14 ou 15 kg/cm².

d- La résistance à la chaleur

Les revêtements des chaussées d'aérodromes doivent pouvoir résister à la chaleur provenant des réacteurs. Cette chaleur pourrait fondre le bitume et par suite produire des arrachements des éléments constituant la chaussée.

e- L'écoulement des eaux

L'écoulement des eaux est plus difficile à assurer pour les chaussées d'aérodromes que pour les chaussées routières. Ceci est dû aux faits que les surfaces à assainir sont beaucoup plus larges pour les premières et les pentes autorisées sont faibles.

Tableau 42: Particularités des chaussées aéronautiques par rapport aux chaussées routières

Chaussées routières	Chaussées aéronautiques
Charges appliquées	
La réglementation française limite à 130 kN (13 T) la charge à l'essieu, pour les essieux isolés et à 210 kN (21 T) pour les essieux multiples	Pas de limitation de charges, pouvant aller jusqu'à 25-30 tonnes à la roue.
La pression des pneumatiques ne doit pas dépasser 0,8 MPa (8 bars). L'application des charges présente une très faible dispersion latérale sur une voie de circulation dont la largeur ne dépasse pas 3,5 m en ligne droite.	Les pressions des pneumatiques peuvent atteindre plus de 1,5 MPa (15 bars) pour certains types d'aéronefs. Sur les pistes, dont la largeur peut atteindre plus de 45 m, le trafic est dispersé et la configuration des atterrisseurs variables d'un avion à l'autre. Sur les voies de dégagement ou de manœuvres les charges sont moins dispersées.
Les charges les plus agressives ne sont pas appliquées à une vitesse de plus de 80 à 90 km/h.	Vitesses variables : - très faibles, générant des phénomènes de poinçonnement important sur la couche superficielle - très élevées, notamment au décollage et à l'atterrissage (supérieures à 300 km/h)
Charges appliquées	
Très grande circulation de charges relativement peu élevées qui engendrent une fatigue principalement due à la répétition importante de charges (de l'ordre d'un million de mouvements) entraînant de faibles déformations.	Très faible circulation de charges diverses qui induit une fatigue due à une répétition restreinte de charges lourdes (de l'ordre de 10 000 répétitions) engendrant de grandes déformations.
Particularités	
Uni (défauts de surface) lié au confort des usagers	Uni de surface lié en majeure partie à la sécurité des avions lors du roulage à grande vitesse
Rugosité évoluant essentiellement par le polissage des granulats au cours du temps	Rugosité beaucoup plus évolutive due au dépôt de gomme
Déviation et interruption du trafic en cas d'interventions sur la chaussée	Trafic dont les contraintes d'exploitation et de sécurité ne permettent généralement pas son interruption ni même son aménagement sans de grandes difficultés, en vue d'entretenir les couches de roulement
Pourcentage des pentes à respecter : - Profil en long $\leq 9\%$ - Profil en travers (ligne droite) $\leq 2,5\%$ - Profil en travers (courbe) $\leq 7,5$ ou 9%	Pourcentage des pentes à respecter : - Profil en long piste $\leq 1,5\%$ - Profil en travers piste $\leq 1,5\%$ - Pente transversale voies de relation $\leq 1,5\%$ - Pente poste de stationnement $\leq 1\%$ dans toutes les directions

II- LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CHAUSSEE

1. La chaussée souple

a- Couche de surface

La couche de surface assure un rôle fonctionnel (étanchéité, bon uni, rugosité) et un rôle structurel.

➤ Couche de roulement :

La couche de roulement doit assurer l'imperméabilité de la chaussée, résister aux efforts tangentiels et être relativement lisse pour éviter l'usure excessive des pneumatiques. Par conséquent, elle doit être constituée de béton bitumineux.

➤ Couche de liaison :

La couche de liaison est en principe constituée par des enrobés denses à chaud.

b- Couche de base

Cette couche, placée directement sous la couche de surface, supporte des efforts tangentiels importants.

Pour cela, elle doit :

- ✓ Assurer un rôle structurel en diffusant et diminuant les contraintes sur la couche de fondation et le sol support ;
- ✓ Être une bonne assise pour la couche de surface.

c- Couche de fondation

La couche de fondation assure un support à la couche de base et permet le bon compactage de cette dernière. En outre, elle participe à la répartition des contraintes sur le sol support.

d- Sous-couche

Elle est destinée à :

- ✓ Eviter la remontée des eaux de la nappe phréatique. Dans ce cas elle joue un rôle anticapillaire ;

- ✓ Empêcher la contamination de la couche supérieure par des sols supports argileux et elle joue un rôle anti-contaminant dans ce cas ;
- ✓ Permettre d'améliorer les caractéristiques de la plate forme support de la chaussée ainsi que sa praticabilité pendant la phase de chantier.

2. La chaussée rigide

a- Couche de roulement

Une couche de roulement est réalisée avec des dalles en béton rectangulaire (armé ou non) qui sont pourvues des joints .Son épaisseur sera fonction des charges des aéronefs, mais on donne à titre indicatif :

- ✓ Une épaisseur de l'ordre de 12 à 25 cm pour le béton armé ;
- ✓ Une épaisseur de l'ordre de 10 à 24 cm pour le béton ordinaire.

b- Couche de fondation

Le rôle de la couche de fondation est en effet important. Elle doit :

- ✓ 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 déroulement des travaux de bétonnage ;
- ✓ S'opposer à la remontée des fines par pompage au droit des joints.

Pour assurer la mise en œuvre des matériaux, l'épaisseur de la couche de fondation ne devrait pas descendre en dessous de 15 cm. Selon les matériaux choisis comme couche de fondation, on peut se référer aux marges d'épaisseurs ci-après :

- Béton maigre : épaisseur variant de 16 à 30 cm ;
- Graves traitées aux liants hydrauliques : épaisseurs de l'ordre de 15 à 30 cm ;
- Graves non traitées : 15 à 35 cm d'épaisseur.

c- Couche de forme

Une couche de forme améliore le niveau du sol de plate forme. Elle facilite la circulation des engins sur chantier et permet un bon réglage des couches supérieures (sous-couche et fondation).

d- Les joints

Les chaussées rigides comportent des joints qui se répartissent selon trois catégories :

✓ **joints de retrait-flexion**

Pour éviter le phénomène de retrait hydraulique qui se traduit par des fissures transversales régulièrement espacées il est nécessaire de scier le béton sur 1/5 de l'épaisseur de la dalle à distance régulière ;

✓ **joints de construction**

- **longitudinaux** : Ces joints séparent deux bandes adjacentes de bétonnage. Les transferts sont assurés par un dispositif de type sinusoïdal auquel on peut éventuellement adjoindre des fers de liaison ou des goujons ;
- **transversaux** : joints d'arrêt de répandage. Les transferts de charge sont assurés par un goujonnage. Dans la mesure du possible, on essaie de faire correspondre un joint transversal de construction avec un joint de retrait-flexion ;

✓ **joints de dilatation**

Ce sont des joints transversaux de 30 mm de largeur environ. Ils sont destinés à éviter que les dilatations thermiques des dalles ne s'accompagnent pas par des poussées sur les dalles adjacentes. Ils sont nécessaires aux intersections de pistes ou aux jonctions de piste avec les bretelles et le long des caniveaux.

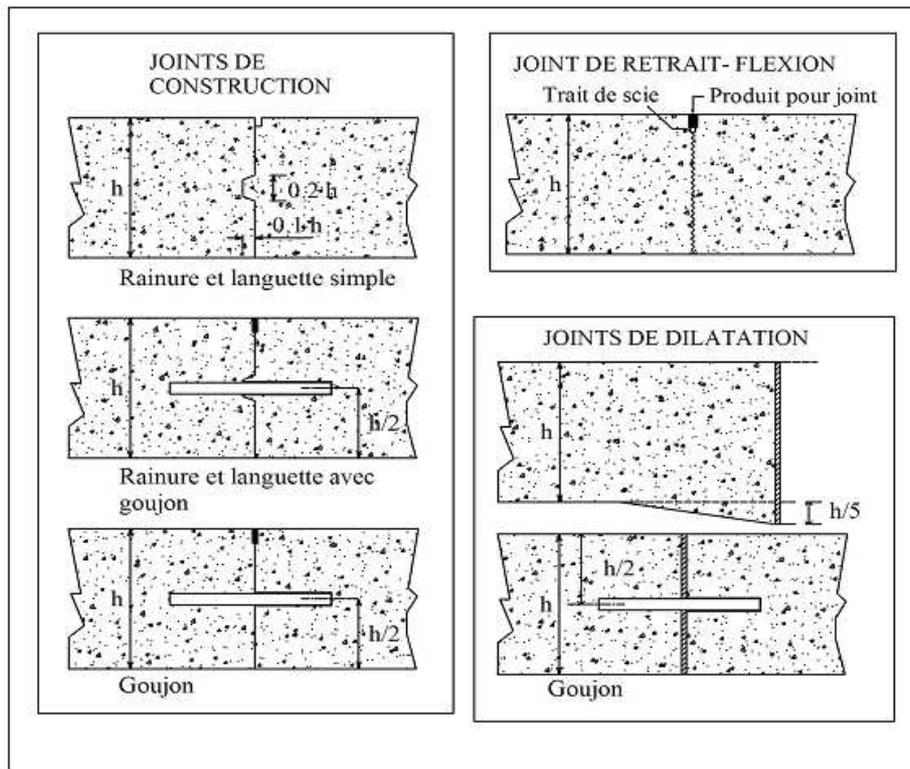


Figure 19: Dispositions constructives des joints des chaussées rigides

Tableau 43: Localisation et condition d'emploi des joints des chaussées rigides

Types de joints	Localisation	Conditions d'emploi
JOINTS DE CONSTRUCTION	<ul style="list-style-type: none"> • Longitudinalement : à la limite des bandes d'épandage ; • Transversalement : lorsque le bétonnage est interrompu en cours de bande 	<ul style="list-style-type: none"> ☑ Rainures et languettes uniquement pour les épaisseurs de dalles supérieures à 20 cm. ☑ Goujons conseillés pour les chaussées fortement circulées par des gros porteurs et sur sol médiocre.
JOINTS DE DILATATION	<ul style="list-style-type: none"> • A l'intersection d'ouvrages : <ul style="list-style-type: none"> • Entre pistes et voies ; • Aux abords des ouvrages d'art ; • Le long des caniveaux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Emploi afin d'éviter les poussées dangereuses.
JOINT DE RETRAIT-FLEXION	<ul style="list-style-type: none"> • Longitudinalement : lorsque la largeur de la bande d'épandage dépasse 5 m ; • Transversalement : réalisation systématique à intervalles réguliers de 5 m environ. 	

CONCLUSION PARTIELLE

La chaussée aéronautique a la même structure que la chaussée routière, qui est :

- la couche de roulement ;
- la couche de base ;
- la couche de fondation ;
- la couche de forme.

On distingue en général deux types de chaussée d'aérodrome :

La chaussée souple est constituée de couche des Matériaux Traités aux Liants Hydrocarbonés et des couches inférieures réalisées aux matériaux souples. Ces matériaux reposent sur un sol support qui est caractérisée par son indice de portance en CBR.

La chaussée rigide est constituée de couche des Matériaux Traités aux Liants Hydrauliques, dont la couche de roulement et la couche de base sont réunies en une seule dalle. Ces couches sont réunies par des joints qui servent à éviter le retrait hydraulique et la dilatation thermique des dalles, à assurer le transfert des charges. Ces matériaux reposent sur un sol support qui est caractérisée par son module de réaction K en MN/m^3 .

Au chapitre suivant, les méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques seront élaborées

Chapitre II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSES AERONAUTIQUES

I- DIMENSIONNEMENTS DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES NEUVES

1. Dimensionnement forfaitaire

a- Définition

Le dimensionnement forfaitaire est une méthode pour calculer l'épaisseur d'une chaussée en fonction d'une charge normale de calcul P'' obtenue à partir de la charge réelle pondérée P' avec un nombre réel des mouvements journaliers n donnés. Il ne tient compte que d'un seul type d'avion.

On utilise la méthode du dimensionnement forfaitaire lors :

- de l'étude d'un aérodrome sur lequel évolue un type d'avion qui est nettement le plus contraignant ;
- des dimensionnements des chaussées rigides (la précision de la méthode est généralement suffisante) ;
- des études préliminaires en l'absence des prévisions fiables de trafics.

Le trafic moyen pris en compte est de 10 mouvements par jour pendant 10 ans pour les chaussées souples et 20 ans pour les chaussées rigides.

Une chaussée sera donc calculée pour 36 500 mouvements d'avions. La correction repose sur une relation entre les couple (P', n) où P' est la charge réelle pondérée, n le nombre d'applications en mouvements réels par jour pendant 10 ans et le couple $(P'', 10)$ où P'' est la charge normale de calcul (par définition, appliquée 10 fois par jour).

$$P' = \frac{P}{(1,2 - 0,2 \log_{10} n)}$$

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

$$P' = k P$$

Où P est la charge appliquée sur atterrisseur et k un coefficient de pondération des aires, tel que :

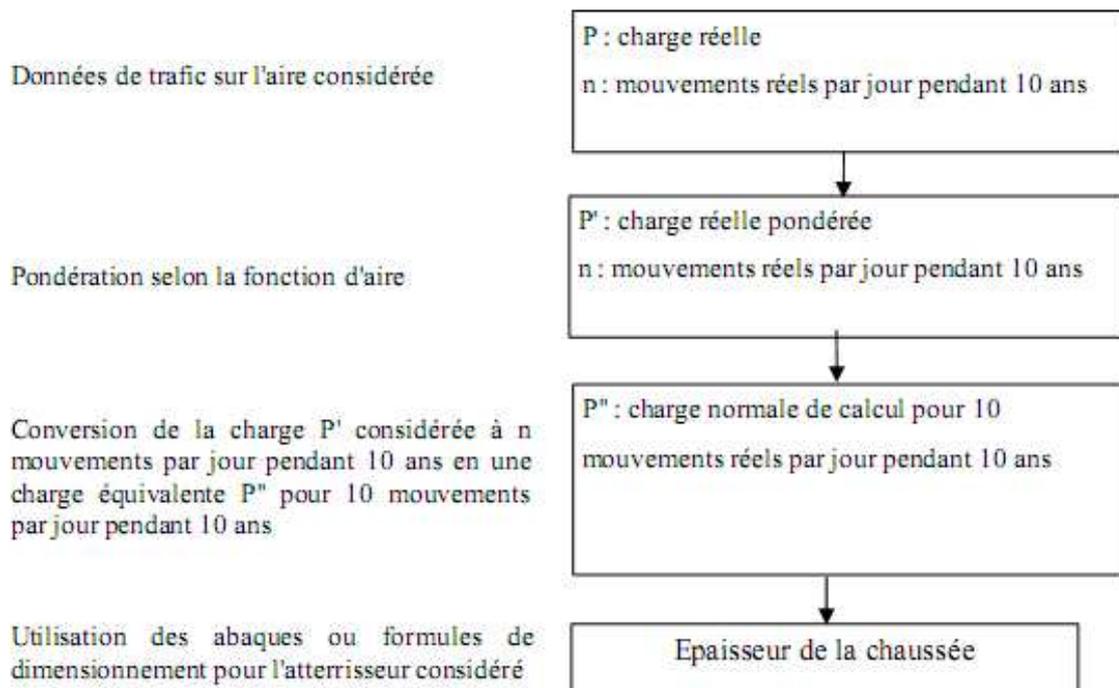
$k = 1$ pour piste d'envol, bretelle et voie de circulation ;

$k = 0,7$ pour accotement ;

$k = 1,2$ pour aire de stationnement.

Le procédé algorithmique à suivre pour trouver la charge normale de calcul est :

Tableau 44: Procédé algorithmique



Remarques :

↳ La formule de P'' précédente n'est valable que pour une durée de vie de dix ans dans la chaussée étudiée. Pour une autre durée, il convient de ramener à 10 ans.

Pour cela, on utilise la formule :

$$n = \frac{\rho \times T}{10}$$

Où T : durée de service de la chaussée

ρ : nombre des mouvements pendant T ans.

↳ La valeur du coefficient de correction CT est telle que :

$0,8 \leq CT \leq 1,2$ les coefficients 0,8 et 1,2 correspondent respectivement à l'hypothèse minimale de 1mvt/j et à l'hypothèse maximale de 100mvt/j. Quand le nombre de mouvements sort de ces limites, il est recommandé d'utiliser le dimensionnement optimisé.

b- Dimensionnement forfaitaire d'une chaussée souple

Le dimensionnement des chaussées souples utilise la méthode CBR pour des charges isolées. Il existe un procédé permettant de convertir la charge sur un atterrisseur quelconque en une charge sur une "Roue Simple Equivalente" (RSE).

La RSE à un atterrisseur est la roue simple fictive qui produirait la même action (contrainte verticale ou contrainte de cisaillement ou déformation) maximale que produit l'atterrisseur à une profondeur z donnée dans le massif de Boussinesq considéré.

➔ **La méthode C.B.R.**

Le principe de la méthode CBR est basé sur l'assimilation de sol support et de la chaussée à un massif semi-fini, homogène, isotrope de type Boussinesq en retenant le critère de la contrainte verticale σ_z au niveau du sol support.

La formule CBR permet de calculer l'épaisseur e de chaussée pour laquelle est admissible la contrainte verticale produite par une charge P appliquée 10 000 fois avec une pression q uniformément répartie sur l'aire circulaire de rayon a.

La formule est :

$$e = \sqrt{\frac{P}{10,2q} \left[4,231 - 5,013 \cdot \log \frac{CBR}{q} + 2,426 \left(\log \frac{CBR}{q} \right)^2 - 0,473 \left(\log \frac{CBR}{q} \right)^3 \right]}$$

$$\text{Si } \frac{CBR}{q} < 20, \text{ alors } e = \sqrt{P \left(\frac{1}{0,57CBR} - \frac{1}{32q} \right)}$$

Avec :

q : pression de gonflage des pneumatiques en MPa ;

P : RSE en kg ;

e : exprimée en cm, représente une épaisseur équivalente pour un massif homogène constitué par un matériau de référence (grave non traitée, concassée et bien graduée et de module d'élasticité E = 500 MPa).

Comme la chaussée est composée de plusieurs couches présentant des qualités mécaniques très différentes, on utilise les coefficients d'équivalence en adoptant les valeurs :

$$a_i = \sqrt[3]{\frac{E_i}{500}}$$

a_i : coefficient d'équivalence de la couche i ;

E_i : module d'élasticité de la couche i en MPa.

La structure classique de chaussée souple respecte une règle de croissance des coefficients d'équivalence du bas vers le haut.

On peut donner les résultats de coefficient d'équivalence dans le tableau ci-dessous.

Tableau 45: Coefficients d'équivalence des matériaux

Matériaux	a_i
Béton Bitumineux à Module Elevé	2,5
Béton Bitumineux	2
Enrobé à Module Elevé	1,9
Grave Bitume	1,5
Grave Traitée aux Liants Hydrauliques (ciment laitier, cendres volantes,	1,5
Béton Maigre	1,5
Grave Emulsion	1,2
Grave Concassée Bien Graduée	1
Sable Traité aux Liants Hydrauliques (ciment laitier)	1
Tout Venant de Concassage	1
Grave Roulée	0,75
Sable	0,5

Influence de la couche de forme :

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

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

Avec :

e : épaisseur équivalente comptée au niveau de la couche de forme (cm) ;

h_1 : épaisseur équivalente comptée au niveau du sol support (cm) ;

h : épaisseur de la couche de forme (cm) ;

CBR_2 : CBR de la couche de forme ;

CBR_1 : CBR du sol support.

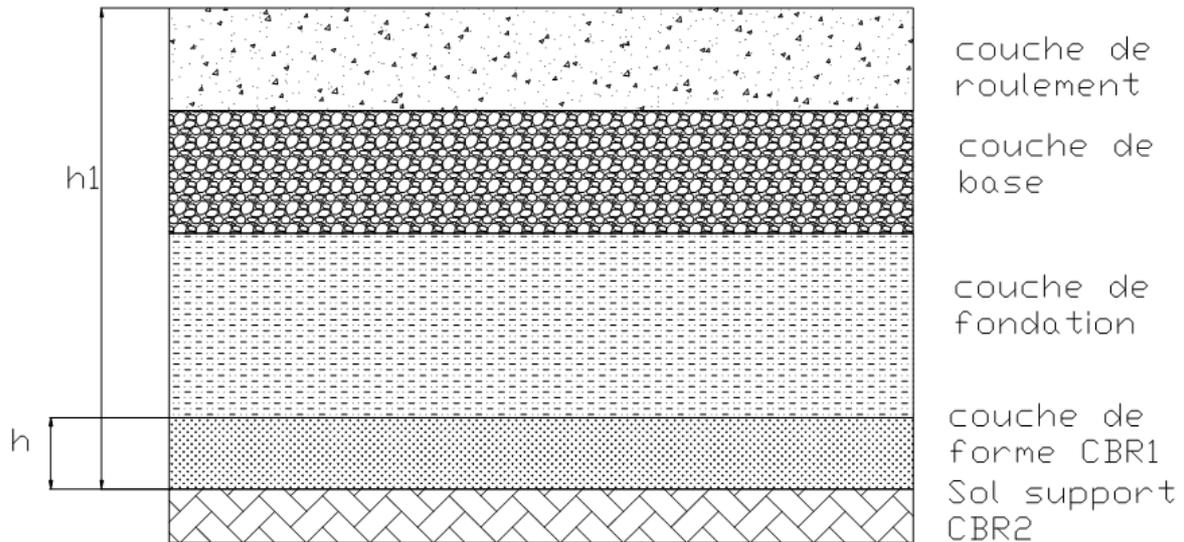


Figure 20:Structure d'une chaussée munie d'une couche de forme

➤ **Détermination de la roue simple équivalente RSE**

La RSE peut se déterminer par deux méthodes :

- Méthode généralisée de BOYD & FOSTER ;
- Méthode du CORPS OF ENGINNERS.

Méthode généralisée de BOYD & FOSTER

La méthode de BOYD & FOSTER est applicable aux avions équipés d'atterrisseurs dont l'espacement est suffisamment grand pour que l'action de chaque atterrisseur puisse être considérée isolément. On considère alors une géométrie des empreintes des pneus et on sait son centre de gravité.

On appelle roue de référence celle la plus proche du centre de gravité. Soient :

S ou S_D : la distance de centre à centre séparant cette roue de référence de la roue la plus éloignée ;

d : la plus petite distance mesurée intérieurement des deux empreintes voisines.

La répartition des charges dans le sol est illustrée par la figure ci-dessous.

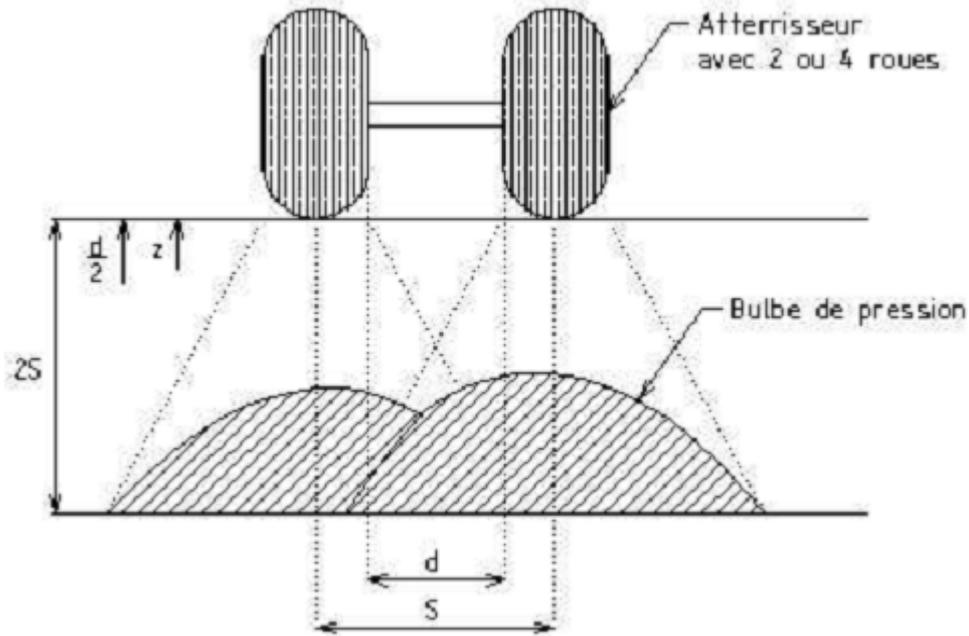


Figure 21: Répartition des charges dans le sol

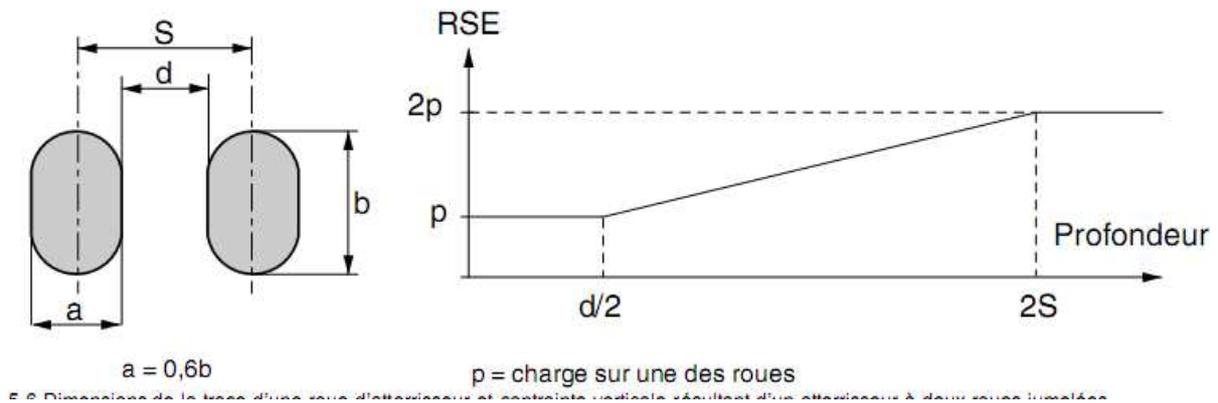


Figure 22: Variation de la R.S.E en fonction de la profondeur

Une bonne approximation qui résulte des considérations théoriques et expérimentales consiste à admettre que :

- A une profondeur $z < \frac{d}{2}$, chaque roue agit isolément ;
- à une distance $2S$ ou $2S_D$, la pression est la même que celle résultant de l'action d'une seule roue supportant la totalité de la charge de l'atterrisseur ;
- entre $\frac{d}{2}$ et $2S$ ou $2S_D$, la pression au sol est égale à celle due à une roue simple supportant une charge unique comprise entre p et P_{at} (charge sur une roue et charge sur atterrisseur) qui peut être déterminée en admettant que $\log(RSE)$ varie linéairement avec $\log(z)$.

Littéralement, on peut donner les formules suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{pour } 0 \leq z \leq \frac{d}{2} \text{ on a } RSE = p \\ \text{pour } \frac{d}{2} \leq z \leq 2S \text{ ou } 2S_D \text{ on a } RSE = Pat \left(\frac{z}{2S}\right)^\alpha \text{ avec } \alpha = \frac{\log v}{\log \frac{4S}{d}} \\ \text{pour } z \geq 2S \text{ ou } 2S_D \text{ on a } RSE = Pat \end{array} \right.$$

Avec :

RSE : la roue simple équivalente (kg) ;

Pat = v.p : charge sur atterrisseur (kg) ;

v : nombre des pneumatiques sur un atterrisseur ;

p : charge sur une roue (kg) ;

S : voie du train des roues jumelées (cm) ;

S_T : empattement (cm) ;

$S_D = \sqrt{S^2 + S_T^2}$: Distance entre les centres des aires de contact des roues diagonales (cm) ;

z : profondeur (cm).

Les atterrisseurs :

✓ **Définition :**

L'atterrisseur est l'ensemble des roues montées sur une même jambe.

L'ensemble des atterrisseurs constitue le train d'atterrissage.

✓ **Type d'atterrisseur :**

Il existe différents types d'atterrisseur : roue simple, jumelage, tandem, boggie et configurations complexes.

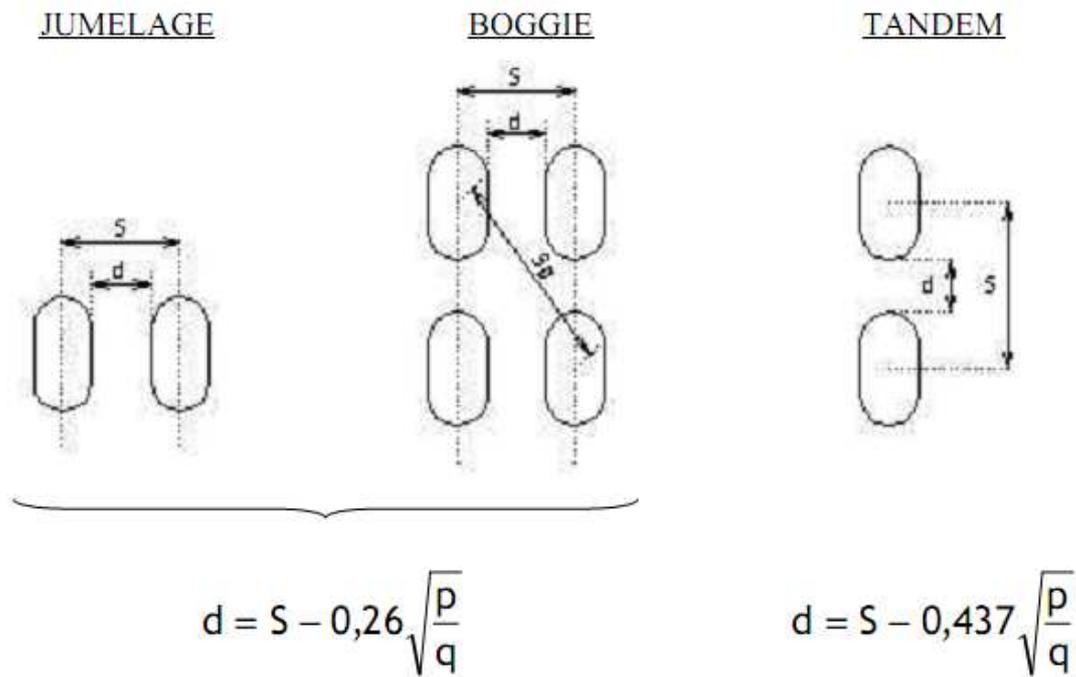


Figure 23: Atterrisseur du type jumelage, boggie, tandem

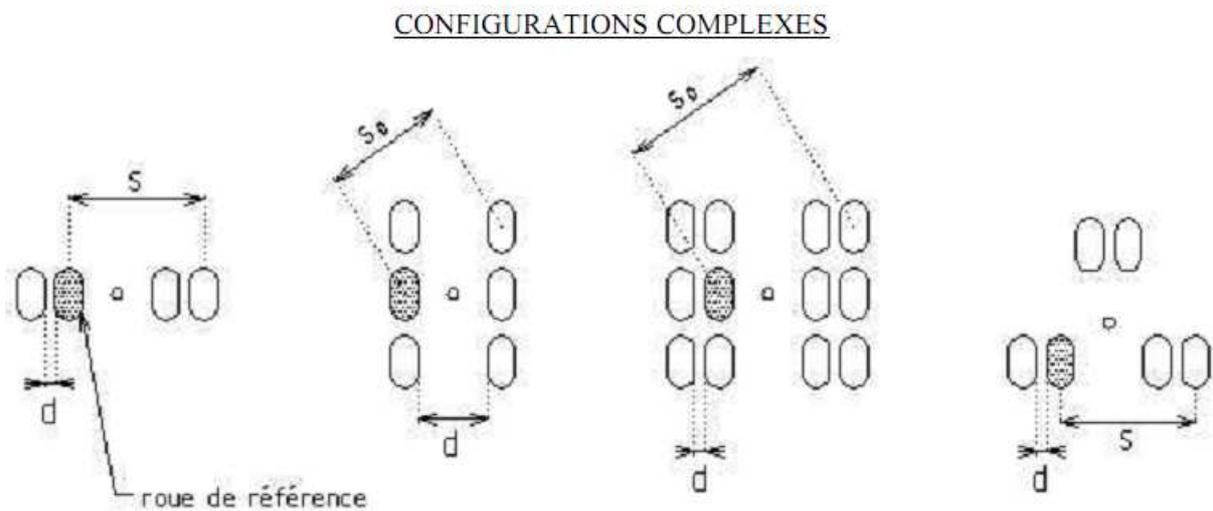


Figure 24: Atterrisseur du type configurations complexes

q : pression de gonflage des pneumatiques (MPa)

d et S (cm).

La variation de la RSE en fonction de la profondeur z et les charges p peut être interprétée par la courbe suivante :

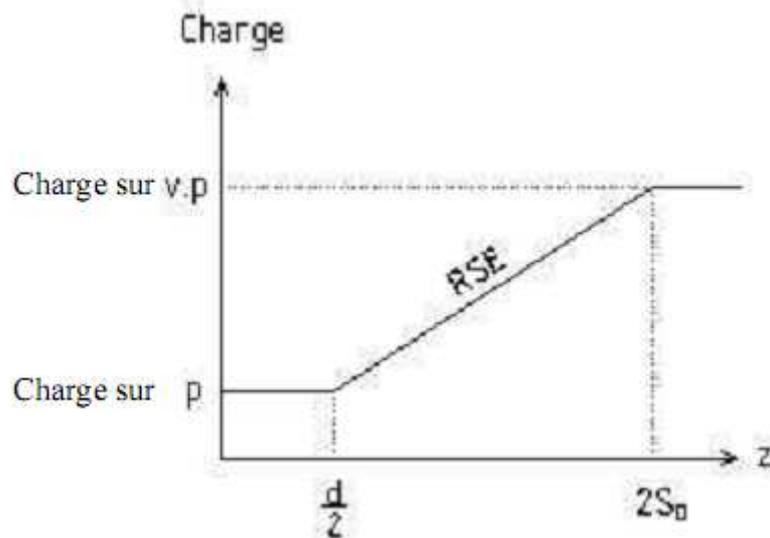


Figure 25: Courbe de RSE en fonction de la profondeur et de la charge

La profondeur est déterminée à partir de la formule de Boussinesq ci-dessous :

$$\sigma_z = q \left(1 - \frac{z^3}{\sqrt{a^2 + z^2}} \right) \leq \sigma_{z,adm}$$

Après résolution, on a :

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

Avec :

- q : pression de gonflage (MPa) ;
- a : rayon de surface de contact de roue (cm) ;
- σ_z : contrainte verticale de calcul (MPa) ;
- $\sigma_{z,adm}$: contrainte admissible du sol support (MPa) ;
- z : profondeur (cm).

Méthode du CORPS OF ENGINNERS

Si le train d'atterrissage est tel que la distance S_D défini comme précédemment n'est pas petite par rapport à la distance entre atterrisseur (la voie), la méthode de BOYD & FOSTER n'est pas applicable.

Il existe une autre méthode du CORPS OF ENGINNERS qui est utilisable. Ses fondements théoriques ne sont cependant pas différents de la méthode de BOYD & FOSTER.

Le critère retenu pour la détermination de la RSE est celui de la déflexion verticale du sol support.

Le principe se repose sur la théorie de Boussinesq qui établit la déflexion produite en un point par une charge P répartie uniformément sur l'aire d'un cercle de rayon a avec une

pression q . Le *coefficient de déflexion* f est donné par un tableau de type des avions. Pour un groupe de v roues identiques (charge P , rayon a , pression q), la déflexion totale en un point quelconque s'écrit :

$$W = \sum_{i=1}^v W_i = \sum_{i=1}^v f_i \frac{q \cdot a}{E} = \frac{q \cdot a}{E} \sum_{i=1}^v f_i$$

La charge P_s de la roue simple de même rayon a et de pression q_s qui produirait la même déflexion W dans l'axe du point est telle que :

$$W = f \frac{q_s \cdot a}{E}$$

Avec :

$$a^2 = \frac{P_s}{\pi \cdot q_s}$$

D'où :

$$\frac{q_s}{q} = \frac{\sum_{i=1}^v f_i}{f} = \frac{p_s}{p}$$

Alors on a :

$$RSE = p \frac{\sum_{i=1}^v f_i}{f} = \frac{f_m}{f}$$

Pour déterminer f_m et f , il faut suivre la procédure suivante et prise à différentes profondeurs pour tracer un diagramme complet de variation de la RSE avec la profondeur :

- 1) des valeurs multiples d'un rayon sont choisies ;
- 2) divers emplacements en plan sont fixes et la déflexion est calculée pour chacun d'eux. Il est nécessaire de choisir au moins un point dans l'axe de chacune des charges et au centre de gravité plus quelconque points intermédiaires choisis judicieusement ;
- 3) les coefficients f_i sont recherchés. Ils correspondent aux différentes roues de l'atterrisseur pour l'emplacement envisagé. Les coefficients f_i sont additionnés ;
- 4) le calcul est renouvelé pour les différents emplacements choisis en 2) et le coefficient f_m est déterminé : il s'agit de la valeur maximale de la somme déterminée en 4) trouvée sur l'ensemble des emplacements testés ;
- 5) pour la profondeur envisagée, le coefficient f pour une roue simple isolée est calculé. Cette roue a une aire de contact égale à celle d'une des roues de l'atterrisseur ;
- 6) la RSE est déterminée par la formule :

$$RSE = \frac{f_m}{f}$$

c- Dimensionnement forfaitaire d'une chaussée rigide

Pour dimensionner une chaussée rigide, il est nécessaire de déterminer les paramètres de calculs suivants :

- ✓ la contrainte admissible de traction à la flexion du béton de ciment ;
- ✓ la portance du sol support ;
- ✓ le trafic.

Contrainte admissible de traction à la flexion

Les chaussées rigides sont mobilisées en traction par flexion sous l'effet des charges appliquées sur la dalle. L'objectif du dimensionnement est de déterminer une épaisseur réelle de telle sorte que la contrainte maximale induite par les charges soit inférieure ou égale à la contrainte admissible σ_0 .

La contrainte admissible σ_0 est la contrainte de rupture du béton de ciment mesurée à 90 jours, divisée par un coefficient de sécurité CS fonction de la qualité du dispositif de transfert de charge :

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{CS}$$

Remarque:

Le coefficient de sécurité dépend du type de joint de construction et de dilatation de la chaussée.

En effet, les discontinuités introduites par les joints conduisent par suite à augmenter l'épaisseur de la dalle. Plutôt que de majorer celle-ci au sortir de l'abaque, il a été choisi d'introduire la prise en compte des joints en minorant la contrainte admissible du béton. C'est la raison pour laquelle on a associé un coefficient de sécurité au type de joint.

CS = 1,8, si le dispositif de transfert de charge est efficace ;

CS = 2,6, si le dispositif de charge est déficient.

Le tableau suivant donne la valeur du coefficient de sécurité en fonction du type de joint.

Tableau 46: Coefficient de sécurité en fonction du type de joint

<i>Nature du dispositif de transfert de charge des joints de construction et de dilatation de la chaussée</i>	<i>Autres conditions</i>	<i>Coefficient de sécurité</i>
Sans dispositif	Dans tous les cas	2.6
Goujons		1.8
Rainure et languette	Moins de 2 conditions défavorables*	1.8
	Au moins 2 conditions défavorables	2.6

***Conditions défavorables :**

- mauvais sol support ($K < 20 \text{ MN/m}^3$) ou non homogène ;
- fondation de faible épaisseur (épaisseur $< 20 \text{ cm}$) ou non traitée ;
- fort trafic composé d'avion de gros porteurs (Boeing 747 ; Airbus A380) ;
- important gradient thermique journalier (supérieures à 20°C) ;
- absence de fer de liaison.

Portance du sol support

La mesure de portance du sol support est effectuée au moyen d'un essai de plaque de Westergaard pratiqué in situ sur le sol compacté à 95 % de l'OPM tous les 5000 m².

C'est à partir de cet essai qu'on obtient le module de réaction du sol support ou module de Westergaard K exprimé en MN/m^3 .

Le trafic

Le trafic attendu peut être donnée par l'ensemble de couple (P_i, N_i). Où P_i est la masse de l'aéronef et N_i le nombre de mouvements réels de l'aéronef i à la masse P_i . La pondération des charges et la correction du nombre de mouvement sont toujours à appliquer.

Ainsi, en se fixant à priori l'épaisseur de la couche de fondation, l'épaisseur de la dalle de béton sera calculée à l'aide des abaques propres à chaque type d'avion sachant les paramètres ci-dessus. Le module de réaction K doit être corrigé en fonction de l'épaisseur équivalente de la couche de fondation.

2. Dimensionnement optimisé

Le dimensionnement optimisé permet de calculer une épaisseur de chaussée en considérant plusieurs types d'avions à leurs fréquences et charges respectives et pour une durée de vie donnée.

La méthode présente l'avantage de convertir les mouvements réels de chacune des charges et atterrisseurs réels considérés en mouvements équivalents de mêmes "charges de référence".

Deux couples (charges et atterrisseurs, nombre de mouvements) sont équivalents quand ils produisent la même fatigue (chaussée et sol support).

La procédure suivante a pour but de déterminer l'épaisseur équivalente totale (chaussée souple) ou l'épaisseur réelle de la dalle en béton (chaussée rigide) :

- 1) Pondération des charges selon la fonction de l'aire ;

- 2) Tous les modèles d'avions sont recensés :
 - Deux modèles du même avion sont considérés comme différents si les caractéristiques de leurs atterrisseurs sont différentes (nombre de roue, pression de gonflage,...) ;
 - Plusieurs charges réelles P_{ij} peuvent être considérées par modèle (i) avec leur nombre de mouvements réels n_{ij} et sont transformés en charges réelles pondérées P'_{ij} pour tenir compte de la fonction de l'aire.
- 3) En vue d'un calcul par itération, une épaisseur initiale est choisie, épaisseur équivalente totale (chaussée souple) ou épaisseur réelle de dalle de béton (chaussée rigide) :
 - pour chacun des avions paraissant le plus contraignant, il convient de calculer l'épaisseur qui lui serait nécessaire en appliquant la méthode du dimensionnement forfaitaire ;
 - la plus grande des épaisseurs ainsi obtenues, majorées de quelques centimètres, fournit en général une épaisseur initiale assez proche de la valeur définitive.
- 4) Pour chaque modèle d'avion (i), on détermine la charge admissible P_{oi} correspondant à l'épaisseur choisie ;
- 5) Pour chaque modèle d'avion (i), les n_{ij} mouvements réels de chaque charge réelle pondérée P'_{ij} sont convertis en n'_{ij} mouvements équivalents à la charge admissible P_{oi} . Pour cela, pour chaque modèle d'avion et chaque charge P'_{ij} :
 - Le rapport $R_{ij} = \frac{P'_{ij}}{P_{oi}}$ est calculé avec :
 $R_{ij} \leq 1,2$: pour les aires de stationnement
 $R_{ij} \geq 1,5$: pour les autres aires

Si les valeurs sont dépassées, le calcul est recommencé à la séquence 3) avec une épaisseur initiale majorée.

- Le coefficient de conversion $N_{oi,j}$ des mouvements réels est donné par :

$$N_{oi,j} = 10^{5(R_{ij}-1)}$$

- Le nombre des mouvements équivalents est $n'_{ij} = n_{ij} \times N_{oi,j}$
- 6) Le trafic équivalent est la somme des mouvements équivalents de tous les modèles d'avions n'_{ij} .
 - Si le trafic équivalent est sensiblement inférieur à 36500, l'épaisseur essayée est trop importante (surdimensionnement) et le calcul doit être repris depuis la séquence 3) avec une épaisseur plus petite ;
 - Si le trafic équivalent est sensiblement supérieur à 36500, l'épaisseur essayée est insuffisante (sous-dimensionnement) et le calcul doit être repris depuis la séquence 3) avec une épaisseur plus grande.

Il est obligé de ne pas descendre au-dessous d'un pas d'itération de 1 cm pour les chaussées rigides et de 2 cm pour les chaussées souples pour ne pas perdre la précision maximale qu'il convient d'attendre d'un calcul de dimensionnement optimisé.

- 7) des itérations sont ainsi effectuées jusqu'à ce qu'on trouve une épaisseur telle que le trafic équivalent soit le plus proche possible de 36 500 et on adopte l'épaisseur trouvée.

Remarques :

Les 36 500 mouvements équivalents (trafics cumulés) pour lesquels est dimensionnée la chaussée sont équivalents à 10 mouvements équivalents (trafics quotidiens) par jour pendant 10 ans.

Donc on a deux choix de calcul d'épaisseur dans la méthode optimisée :

- si on se base des trafics cumulés, il faut vérifier la condition "la somme des mouvements équivalents de tous les modèles d'avions soit inférieure ou égale à 36 500" ;
- si on se base des trafics quotidiens, il faut vérifier la condition : "la somme des mouvements équivalents de tous les modèles d'avions soit inférieure ou égale à 10".

Dans les calculs des dimensionnements optimisés qui suivent, on prend le second choix.

II- RENFORCEMENT DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

Pour une chaussée souple ou chaussée rigide, il est possible de prévoir un renforcement souple ou rigide. Mais, le choix doit tenir compte :

- des coûts de construction et d'entretien ;
- des objectifs de gestion des chaussées ;
- des conditions locales d'approvisionnement en matériaux ;
- des délais d'exécution et des possibilités de phasage des travaux ;
- des perturbations apportées à l'exploitation de l'aérodrome pendant le chantier ;
- du climat...

Par conséquent :

- sur les chaussées souples, les renforcements sont pratiquement toujours réalisés avec une structure souple compte tenu des facilités de phasage et d'utilisation des chaussées après exécution d'une partie des travaux. Le renforcement par une structure rigide est rarement employé ;
- sur les chaussées rigides qui sont difficiles à renforcer, les renforcements souples sont préférables aux renforcements rigides.

1. Renforcement des chaussées souples

Le renforcement des chaussées souples peut se faire de deux façons :

- Renforcement souple ;
- Renforcement rigide.

a- Renforcement souple

L'épaisseur du renforcement est déterminée par la différence entre l'épaisseur équivalente nécessaire obtenue par le dimensionnement d'une chaussée neuve et l'épaisseur équivalente de la chaussée existante.

La détermination de l'épaisseur de la chaussée existante tient compte des deux remarques suivantes :

- d'une part, les coefficients d'équivalence des couches des chaussées doivent être corrigés en fonction de leur état réel ;
- d'autre part, le coefficient d'équivalence d'une couche de chaussée à un niveau donné ne pourra être supérieur au coefficient d'équivalence de la couche rapportée au-dessus. On respecte la croissance de coefficient d'équivalence de la couche la plus basse jusqu'à la couche la plus haute.

b- Renforcement rigide

Lorsqu'une chaussée souple est renforcée par une dalle de béton, elle n'intervient dans le calcul qu'en tant que couche de fondation dont on calculera son épaisseur équivalente et sachant le module de réaction K du sol support, l'épaisseur de la dalle de béton est déterminée de la même façon qu'en dimensionnement des chaussées rigides.

2. Renforcement des chaussées rigides

Comme le renforcement des chaussées souples il peut se faire aussi de deux manières différentes :

- Renforcement souple ;
- Renforcement rigide.

a- Renforcement souple

L'épaisseur équivalente de matériaux enrobés de renforcement est calculée par la formule suivante :

$$e = 3,75(F \cdot h_t - h)$$

Avec :

e : épaisseur équivalente de matériaux enrobés (cm) ;

h : épaisseur de la dalle existante en cm ;

h_t : épaisseur théorique de la dalle équivalente en cm calculée à l'aide des abaques ;

F : coefficient de réduction de l'épaisseur h calculé en fonction du module de réaction K de la couche sur laquelle repose la dalle.

Remarque :

L'épaisseur équivalente de renforcement ne doit pas être inférieure à 25 cm.

Les matériaux utilisés au renforcement doivent avoir un coefficient d'équivalence supérieure ou égal à 1.

b- Renforcement rigide

L'épaisseur de renforcement de la dalle est fournie par la formule :

$$h_R = \sqrt[1,4]{h_t^{1,4} - C \cdot h^{1,4}}$$

Avec :

h_R : épaisseur en cm ;

h_t : épaisseur théorique d'une dalle neuve, déterminer en fonction de la contrainte admissible du nouveau béton et du module de réaction corrigé de la fondation existante en cm ;

h : épaisseur de la dalle de béton existante en cm ;

C : coefficient tenant compte de la qualité de la chaussée existante :

- C = 1 pour une chaussée en bon état ;
- C = 0,75 pour une chaussée présentant quelques fissures d'angles mais pas de dégradations généralisées ;
- C = 0,35 pour une chaussée entièrement fragmentée.

La formule ci-dessus est valable seulement lorsque la dalle de renforcement est appliquée directement sur la chaussée existante. Mais dans le cas où une couche de matériau est interposée (enrobés) entre deux dalles, par exemple dans le but de reprofiler la chaussée existante, l'épaisseur du renforcement est calculée par la formule :

$$h_R = \sqrt{h_t^2 - C \cdot h^2}$$

Tableau 47: Choix de la méthode de dimensionnement

<i>Type de dimensionnement</i>	<i>Nouvelle chaussée</i>		<i>Renforcement</i>	
	<i>chaussée souple</i>	<i>chaussée rigide</i>	<i>chaussée souple</i>	<i>chaussée rigide</i>
Structure de chaussée				
Méthode forfaitaire	utilisable pour tout			
Méthode optimisée	plus utilisée	peu utilisée	plus utilisée	peu utilisée
Renforcement souple			préférable	praticable
Renforcement rigide			rare	rare

III- METHODE DE VERIFICATION DES CONTRAINTES

1. Modèle tri couche

Il est représenté par la figure suivante :

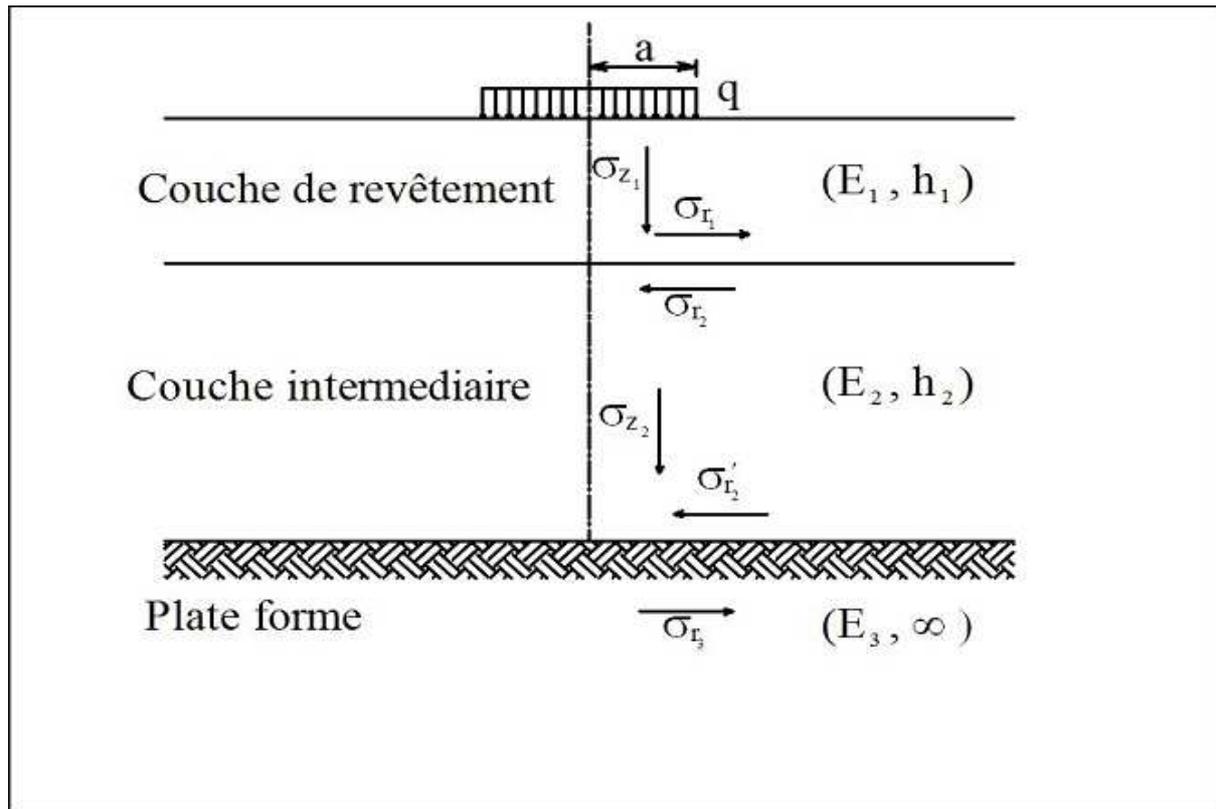


Figure 26: modèle tricouche

Avec :

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

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

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

σ'_{r2} : contrainte radiale de compression ou de traction à la base de la couche intermédiaire ;

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

E_i, h_i : module d'élasticité et épaisseur réelle de chaque couche ;

a : rayon de cercle de charge ;

q : pression du pneumatique.

Plusieurs solutions sont proposées pour la vérification de ce modèle mais on retiendra celle de Jones pour des raisons suivantes :

- ✓ les hypothèses d'un revêtement supposé être une "couche élastique" et celle d'un contact rugueux aux interfaces sont plus conformes à la réalité que celle d'un revêtement en "plaque élastique" et d'un contact lisse aux interfaces ;
- ✓ la solution de Jones fournit un plus grand nombre de contraintes que les autres solutions ;
- ✓ l'application des tables fournies par Jones est plus rapide que celle résultant des autres formes de présentations.

2. Conversion d'un système multicouche

Afin de pouvoir appliquer les calculs de vérification pour un système multicouche, on doit le ramener en un système tri couche en utilisant la formule suivante :

$$h' = h_b + 0,9h_a \left[\frac{E_a}{E_b} \times \frac{1 - \mu_b^2}{1 - \mu_a^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Avec :

- h' : épaisseur équivalente d'une couche supposée unique de module E_b ;
- E_b, μ_b, h_b : module, coefficient de poisson, épaisseur de la couche inférieure ;
- E_a, μ_a, h_a : module, coefficient de poisson, épaisseur de la couche supérieure.

En prenant μ_a = μ_b = 0,5

On a :

$$h' = h_b + 0,9h_a \sqrt[3]{\frac{E_a}{E_b}}$$

Ou en adoptant le module E_a, on aurait :

$$h' = h_a + 0,9h_b \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_a}}$$

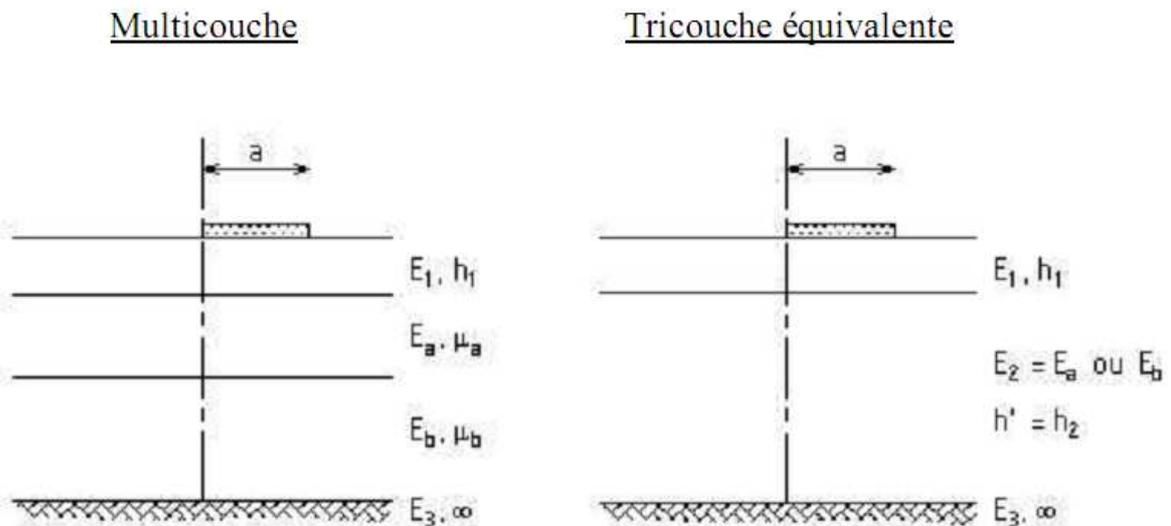


Figure 27: Conversion d'un système multicouche

En règle générale, on assimilera les couches dont les modules sont les plus voisins en une couche unique.

3. Hypothèses de calcul de solution de Jones

- Toutes les couches constituant la chaussée, y compris la plate-forme, sont supposées être parfaitement "élastiques", c'est-à-dire qu'elles obéissent à la loi de proportionnalité entre les contraintes et déformation ;
- Les contacts aux interfaces sont rugueux ;
- Le poids des couches constituant la chaussée est supposé égal à zéro ;
- La pression exercée par le pneu est supposée répartie sur une aire de contact circulaire (l'erreur commise en prenant cette dernière hypothèse est négligeable) ;

- Les paramètres de calcul sont :

$$k_1 = \frac{E_1}{E_2}, k_2 = \frac{E_2}{E_3}, A_1 = \frac{a}{h_2}, H = \frac{h_1}{h_2}$$

Avec :

- E_1 : module élastique du revêtement ;
- E_2 : module élastique de la couche intermédiaire ;
- E_3 : module élastique de la plate-forme ;
- a : rayon du cercle de charge ;
- h_1 et h_2 : épaisseurs respectives du revêtement et de la couche intermédiaire.

Les contraintes calculables sont :

- σ_{r1} : contrainte horizontale de compression ou de traction à la base du revêtement ;
- σ_{z1} : contrainte verticale de compression au niveau supérieur de la couche intermédiaire ;
- σ_{r2} : contrainte radiale de compression au niveau supérieur de la couche intermédiaire ;
- σ'_{r2} : contrainte horizontale de compression ou de traction à la base de la couche intermédiaire ;
- σ_{z2} : contrainte verticale de compression au niveau supérieur de la plate-forme.

La valeur de ces contraintes est donnée en proportion de la pression de contact q . Les Tables de JONES permettant de calculer les contraintes à partir des paramètres de calcul sont présentées en Annexe B-III.

IV- CALCUL DES CHARGES ADMISSIBLES D'UNE CHAUSSE PAR LA METHODE ACN/PCN

La méthode A.C.N. - P.C.N. est un système international normalisé de communication de renseignements permettant de déterminer l'admissibilité d'un avion sur un aéroport en fonction de la résistance des chaussées de la plate-forme concernée.

Élaborée par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I.), imposée aux constructeurs d'avions, cette méthode est applicable, depuis 1983, par l'ensemble des États membres pour la gestion de leurs aéroports.

1. Définitions

L'A.C.N. (Aircraft Classification Number) est un nombre exprimant l'effet d'un avion de type donné sur une chaussée de type également donné (souple ou rigide) pour une catégorie spécifiée de sol support.

Le P.C.N. (Pavement Classification Number) est un nombre exprimant la portance d'une chaussée donnée.

La méthode A.C.N. - P.C.N., dont les conditions d'application sont développées par la suite, peut se résumer par le principe général suivant:

Le P.C.N. d'une chaussée indique qu'un avion dont l'A.C.N. est inférieur ou égal à ce P.C.N. peut utiliser cette chaussée sans autre restriction que celle pouvant être liée à la pression des pneumatiques.

Ainsi, un avion peut utiliser sans restriction une chaussée si deux conditions sont simultanément vérifiées, à savoir que :

- l'A.C.N. de l'avion déterminé pour le type de chaussée (souple ou rigide) et la catégorie de son sol support soit inférieur ou égal au P.C.N. de cette chaussée ;
- la pression des pneumatiques de l'avion n'excède pas la pression maximale admissible publiée pour la chaussée.

Si l'une au moins de ces conditions n'est pas respectée, l'admissibilité de l'avion est soumise aux règles de la procédure de dérogation.

2. Principe de calcul de l'A.C.N.

Le principe de calcul de l'ACN d'un avion est de rechercher une roue simple équivalente.

La formule de l'ACN est donnée par :

$$ACN = \frac{RSE}{500}$$

Avec RSE en kg et ACN sans dimension.

La valeur de la roue simple équivalent étant calculée à partir de :

- L'épaisseur de la chaussée ;
- la valeur de la charge sur une roue simple isolée, gonflée à la pression standard de 1,25 MPa nécessitant la même épaisseur de chaussée est calculée, et c'est la RSE.

a- Pour les chaussées souples

La roue simple équivalente est donnée par :

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

Alors que l'épaisseur corrigée e' est attribuée par :

$$e' = \alpha \times e$$

Avec :

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

q : la pression de gonflage ;

RSE : roue simple équivalente (kg) ;

α : un coefficient correcteur d'épaisseur :

$\alpha = 1$ pour une roue ;

$\alpha = 0,9$ pour 2 roues ;

$\alpha = 0,825$ pour 4 roues ;

$\alpha = 0,72$ pour 6 roues.

b- Correction de l'ACN en fonction de la pression

Elle se fait quand la pression effective de gonflage des pneumatiques d'un avion q' est sensiblement différente de la pression standard q .

La formule de correction est :

$$ACN_{\text{corrigé}} = ACN \frac{\frac{1}{0,5695 \cdot CBR} - \frac{1}{32,035 \cdot q'}}{\frac{1}{0,5695 \cdot CBR} - \frac{1}{32,035 \cdot q}}$$

Avec ACN : valeur calculée avec la pression standard.

3. Détermination du PCN

a- Détermination du PCN par calcul

Le calcul forfaitaire du P.C.N. permet de déterminer ce dernier à partir des seules caractéristiques de la chaussée, sans qu'il soit par conséquent fait référence au trafic qu'elle reçoit.

Il passe par la détermination, à l'aide de l'abaque de dimensionnement, de la charge maximale admissible RSI pouvant lui être appliquée par une roue simple isolée gonflée à 0,6 MPa, charge maximale dont la valeur est ensuite majorée par un coefficient fonction lui-même de la catégorie du sol support.

Pour les chaussées souples :

$$PCN = H(CBR) \times RSI$$

Pour les chaussées rigides :

$$PCN = G(CBR) \times RSI$$

H et G étant déterminés à l'aide de l'abaque participant au calcul forfaitaire du P.C.N.

RSI : Roue Simple Equivalent.

Il est à noter que la charge maximale admissible peut également, pour les chaussées souples, être obtenue de manière plus précise par application de la formule suivante :

$$RSI = 6,12 \frac{e^2}{1000 \left[4,231 - 5,013 \cdot \log \frac{CBR}{0,6} + 2,426 \left(\log \frac{CBR}{0,6} \right)^2 - 0,473 \left(\log \frac{CBR}{0,6} \right)^3 \right]^2}$$

Dans laquelle :

- e est l'épaisseur équivalente de la chaussée exprimée en centimètres ;
- les logarithmes sont décimaux ;
- RSI est exprimé en tonnes.

Bien qu'approchées, les valeurs de P.C.N. obtenues par calcul forfaitaire caractérisent la portance réelle et expriment une bonne connaissance de la chaussée. Elles supposent, par suite, que son auscultation ait été récemment effectuée et doivent être publiées en code T.

b- Détermination du PCN par expérience

Il peut s'avérer nécessaire de publier le P.C.N. d'une chaussée dont on connaît mal les caractéristiques, soit parce qu'elle n'a jamais fait l'objet d'une évaluation, soit parce que cette dernière est trop ancienne pour être prise en compte.

Si l'état apparent de la chaussée est satisfaisant, le P.C.N. peut être déterminé par expérience du trafic en fonction de l'A.C.N. de l'avion le plus contraignant qui l'utilise régulièrement. Dans ce cas, la valeur du P.C.N. à retenir est égale à l'A.C.N. de cet avion à sa charge maximale sur l'aérodrome, A.C.N. divisé par 1,1 ou 1,05 selon que la chaussée est souple ou rigide. Il est publié en code U.

Cette procédure est également utilisée lorsque des avions figurant dans le trafic de référence possèdent un A.C.N. supérieur au P.C.N. de la chaussée calculé forfaitairement.

La publication du P.C.N. en code U selon les cas ci-dessus présente les inconvénients suivants:

- elle accepte sans restriction la venue de tout avion supplémentaire dont l'A.C.N. est inférieur au P.C.N. publié ;
- elle accepte toute augmentation du trafic des avions contraignants figurant dans le trafic de référence, sous réserve que soit respectée la règle des 5%.

La publication en code U peut ainsi conduire la chaussée à supporter un trafic pour lequel elle est sous-dimensionnée. Elle doit, par suite, rester provisoire (deux ans au plus) et nécessite une évaluation à court terme des caractéristiques de la chaussée. Elle nécessite également l'inspection et le suivi de son état afin d'éviter tout risque d'évolution négative et d'évaluer les besoins pour un passage en code T en fonction du trafic reçu.

c- Autre méthode de détermination du PCN par calcul

Pour une chaussée souple il y a une autre méthode de trouver le PCN qui peut se faire comme suit :

- connaissant la constitution de la chaussée, il est possible de calculer directement à l'aide de la formule CBR, la charge de la roue simple qu'elle est capable de supporter (la pression de gonflage étant de 1,25 MPa) et par suite ;
- le PCN est égal au 1/500^{ème} de cette charge exprimée en kg, d'où :

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e^2}{\frac{1}{0,57 \cdot CBR} - 0,025}$$

Avec :

- e : épaisseur équivalente de la chaussée ;
- k : coefficient de pondération selon la fonction de l'aire ;
- CBR : indice portant du sol support.

En général, le PCN calculé ci-dessus n'est pas toujours publiable :

Mémoire de fin d'études : Analyse technique et proposition de solutions

- Si le CBR du sol support est égal à une des valeurs conventionnelles 3, 6, 10 ou 15, on peut publier le PCN ainsi calculé ;
- Si le CBR du sol support est compris entre 3 et 15, mais pas égal à 3, 6, 10 ou 15, le PCN publié qui, par définition, doit correspondre à l'une de ces valeurs, ne peut être pris égal au PCN calculé. Il convient alors de calculer le PCN qui, dans la classe de CBR la plus voisine, attribue les mêmes masses admissibles aux avions susceptibles de fréquenter l'aérodrome.

Le schéma de calcul est le suivant :

- 1) Calcul du PCN comme précédemment ;
- 2) Choix d'un avion tel que les valeurs extrêmes de son ACN encadrent le PCN déterminé en 1) et appelé à fréquenter l'aérodrome. On calcule par interpolation entre les valeurs publiées par l'OACI pour les CBR encadrant le CBR réel, des ACN maximum et minimum pour l'avion choisi ;
- 3) Calcul de la masse maximale admissible pour l'avion considéré par interpolation entre les valeurs extrêmes de l'ACN calculées ci-dessus pour une valeur de l'ACN égale au PCN déterminé en 1) ;
- 4) Calcul de l'ACN correspondant, pour la classe la plus voisine de celle du sol à la masse calculée en 3).

Le PCN utilise les codes consignés dans le tableau ci-après.

Tableau 48: Codification du PCN

<i>Types des chaussées</i>	R	Chaussée rigide
	F	Chaussée souple
<i>Catégorie de résistance du sol support</i>	A	Elevée $K > 120$ ($K=150$) ou $CBR > 13$ ($CBR=15$)
	B	Moyenne $60 \leq K < 120$ ($K=80$) ou $8 \leq CBR < 13$ ($CBR=10$)
	C	Faible $25 \leq K < 60$ ($K=40$) ou $4 \leq CBR < 8$ ($CBR=6$)
	D	Très faible $0 \leq K < 25$ ($K=20$) ou $0 \leq CBR < 4$ ($CBR=3$)
<i>Catégories de pression des pneus</i>	W	Elevée $q > 1,5$
	X	Moyenne $1 \leq q < 1,5$
	Y	Faible $0,5 \leq q < 1$
	Z	Très faible $0 \leq q < 0,5$
<i>Méthodes de calcul de chaussée</i>	T	évaluation technique
	U	évaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions

CONCLUSION PARTIELLE

En général, on distingue deux types de chaussées d'aérodrome :

- ✓ La chaussée souple ;
- ✓ La chaussée rigide.

Le dimensionnement des chaussées aéronautiques aboutit à l'obtention de l'épaisseur équivalente nécessaire que ce soit pour la chaussée souple ou pour la chaussée rigide.

L'épaisseur équivalente nécessaire se calcule en utilisant l'une des méthodes suivantes :

- Le dimensionnement forfaitaire qui considère un avion le plus critique ;
- Le dimensionnement optimisé qui tient compte plusieurs avions critiques.

Le dimensionnement forfaitaire de la chaussée souple nécessite de connaître au préalable :

- Les caractéristiques de l'atterrisseur principal (charge, disposition et espacement des roues) ;
- La portance du sol support et sa contrainte admissible ;
- Le nombre de mouvements par jour de l'avion.

Le dimensionnement forfaitaire de la chaussée rigide consiste à calculer l'épaisseur réelle de la dalle de béton connaissant :

- La contrainte admissible de flexion par traction du béton ;
- Le type de joint de la chaussée rigide ;
- La charge sur atterrisseur principal.

La structure de la chaussée souple doit être vérifiée vis-à-vis de la contrainte admissible du sol support.

Au prochain chapitre, le dimensionnement du projet sera étudié

Chapitre III : DIMENSIONNEMENT

I- ETAT DES LIEUX

La piste a reçu une dernière intervention de prolongement en 1980 en vue de recevoir les avions : DC4, MD315, MH1521, C337, C47, NORD 2501Bimoteur.

Pour pouvoir nettoyer la dégradation accusant l'aérodrome d'ANDRAKAKA, on va diviser la tâche en plusieurs sections.

1. Aire de mouvement

Durant l'auscultation visuelle en vue de réaliser les relevés des dégradations, on a pu constater que :

➤ La piste est constituée :

- D'une part d'une chaussée souple de 2200 m de longueur et 45 m de largeur. Elle est encore en bon état et peut encore supporter un aéronef de type Transall C160 ;
- D'autre part d'une chaussée rigide de 300 m de longueur et 45 m de largeur qui est inutilisable, en cause de présence de nombreuse fissuration du béton.

➤ Les environs de la piste :

- La voie de circulation qui a une longueur de 107 m et un largeur de 28 m est encore en bon état, à part quelques dégradations minimales ;
- L'aire de stationnement qui a une surface de 20 000 m² est encore en bon état ;
- Les raquettes :
 - Au seuil 13 : la raquette en béton est complètement inutilisable ;
 - Au seuil 31 : la raquette fait en chaussée souple est encore en bon état.

2. Envergure de la piste d'envol

D'un côté, on constate à l'extrémité et au bord de la piste, la présence des herbes, des buissons qui ne sont pas trop dangereuses à la navigation.

D'un autre côté, il y a un obstacle à vérifier qui est la colline d'Ambre à 7045 m de distance du seuil 13, à une altitude de 268 m. Comme la distance de la surface de monter au décollage du Transall C160 s'arrête à 1600 m la colline d'Ambre ne fera pas l'objet d'un obstacle. Mais il est encore à déterminer pour l'Air Bus A380.

3. Sondages

De nombreux sondages ont été faits sur l'aire de mouvement, celles-ci ont permis de dégager divers types de structures de la chaussée et de connaître la capacité portante exprimée en CBR du sol support.

Les résultats de sondages auxquels on s'intéresse sont ceux qui concernent les principales aires sur lesquelles l'airbus A380 va circuler. Ces aires sont :

- La piste d'envol ;
- L'aire de stationnement;
- La voie de circulation.

Résultat du sondage de la piste d'envol

D'après les sondages exécutés en 1980, on a pu constater les structures de la piste.

Pour bien distinguer les zones de sondage, on va prendre le seuil 13 comme PK0+00 et la piste est divisée en deux bandes bien distinctes.

Tableau 49: Structure de la chaussée piste

<i>Point de sondage</i>	<i>Type de chaussée</i>	<i>Matériaux</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>
PK0+300	Chaussée rigide	Béton Ciment	20
		Grave Ciment	25
		LAS rouge (K = 40MN/m ³)	∞
PK2+200	Chaussée souple	Béton Bitumineux	5
		Grave Bitume	6
		Graves Concassés Non Traités 0/31 ⁵	16
		LAS rouge (CBR = 10)	∞

Résultat des sondages de l'aire de stationnement

Les sondages qui ont été fait en 1980 sur l'aire de stationnement ont donné les résultats de structure dans le tableau suivant :

Tableau 50: Structure de la chaussée de l'aire de stationnement

<i>Type de chaussée</i>	<i>Matériaux</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>
<i>Chaussée souple</i>	Béton Bitumineux	5
	Grave Bitume	9
	Graves Concassés Non Traités 0/31 ⁵	22
	LAS rouge (CBR = 10)	∞

Résultat des sondages de la voie de circulation

Les résultats des sondages de la voie de circulation sont déterminés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 51: Structure de la chaussée de la voie de circulation

Type de chaussée	Matériaux	Epaisseur (cm)
Chaussée souple	Béton Bitumineux	5
	Grave Bitume	7
	Graves Concassés Non Traités 0/31 ⁵	20
	LAS rouge (CBR = 10)	∞

II- CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA NOUVELLE PISTE

1. Longueur de la piste

Comme l'avion la plus grande que la piste doit recevoir est un A380-800 WV000, alors on doit obtenir ses caractéristiques.

A380-800 :

- Masse certifiée au décollage (MTWO) : 551,4 T ;
- Masse à vide : 275,8 T ;
- Motorisation : GP 7270 ;
- Envergure : 79,750m ;
- Longueur hors tout : 72,727m ;
- Hauteur hors tout : 24,18m ;
- Empattement : 28,606m ;
- Largueur hors tout du train principal : 14,336m ;
- Type de train d'atterrissage : Boggie ;
- Pression des pneumatiques : 1,5MPa ;
- Distance de décollage maximum : 3 030m ;
- Distance d'atterrissage : 2 103m ;
- ACN = 56.

Les données nécessaires pour la détermination de la longueur de la piste sont :

- Type d'avion : A380-800 WV000 ;
- Longueur nécessaire au décollage standard : **$L = 3\ 030\ m$** ;
- Altitude de l'aérodrome : **$h = 61\ m$** ;

Mémoire de fin d'études : Analyse technique et proposition de solutions

- Température de référence de l'aérodrome : $T = 29^{\circ}\text{C}$;
- Température à 150m en atmosphère type :
 $t = 15^{\circ} - 0,0065h$
 $t = 14,604^{\circ}\text{C}$
- Pente de la piste : 5%.

Détermination du coefficient correcteur N

$$N = (1 + n_1/100) (1 + n_2/100) (1 + n_3/100)$$

Coefficient de correction de l'altitude n_1

Comme $h \leq 1200\text{m}$, alors on a $h_1 = 0$

$$n_1 = \frac{7 \cdot h}{300}$$

$$n_1 = \frac{7 \times 61}{300}$$

$$n_1 = 1,423$$

Coefficient de correction de la température n_2

Comme $T \leq t + 20$, alors on a $t_3 = 0$

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

$$t_1 = T - t$$

$$t_1 = 14,396^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = T - (t + 10)$$

$$t_2 = 24,396^{\circ}\text{C}$$

$$n_2 = 17,396$$

$(1 + n_1/100) (1 + n_2/100) = 1,191 < 1.35$ d'où l'inégalité est vérifiée.

Coefficient de correction de la pente n_3

$$n_3 = 10p$$

$$n_3 = 0,5$$

La longueur de piste avec correction

$$N.L = 3\ 608,73m$$

On peut arrondir la longueur de piste avec correction à **3 610 m**.

2. Limitation d'obstacle de l'aérodrome

Les surfaces de dégagement d'un aérodrome délimitent, autour de ce dernier, l'espace qu'il convient de maintenir vide d'obstacles, ou à libérer d'obstacles le cas échéant, afin de permettre d'assurer la sécurité et la régularité de son exploitation.

Compte tenu du code de référence 4F, les surfaces de limitation d'obstacle qui seront établies pour l'aérodrome projeté d'une piste avec approche de précision de catégorie I, auront les dimensions ci-après :

➤ **Surface conique :**

Pente : **5%** ;

Hauteur : **100 m**.

➤ **Surface horizontale intérieure :**

Hauteur : **45 m** ;

Rayon : **4 000 m**.

➤ **Surface intérieure d'approches :**

Largeur : **120 m** ;

Distance au seuil : **60 m** ;

Longueur : **900 m** ;

Pente : **2%**.

➤ **Surface d'approche :**

Longueur du bord intérieur : **300 m** ;

Distance au seuil : **60 m** ;

Divergence (de part et d'autre) : **15%**.

Première section :

Longueur : **4 000 m** ;

Pente : **2%**.

$$\text{Altitude admissible} = (L \times p) + h$$

Avec :

L : distance entre l'obstacle et le point de référence ;

p : pente ;
h : altitude.

$$\text{Altitude admissible à 4 000m : } (4\ 000 \times 0,02) + 61 = 141 \text{ m}$$

Deuxième section :

Longueur : 3 600 m ;
Pente : 2,5%.

$$\text{Altitude admissible à 3 600m : } (3\ 600 \times 0,025) + 141 = 231 \text{ m.}$$

Section horizontale :

Longueur : 8 400 m ;
Longueur total : 15 000 m.

L'altitude admissible après application des pentes précédentes est de 231m. Or à 6 155 m du seuil 13, se dresse la colline d'Ambre à 250m d'altitude. Cette valeur dépasse l'altitude admissible de 211m donc l'atterrissage ne pourra s'effectuer de ce coté.

Pour permettre l'atterrissage au seuil 13, ce seuil devra être décalé de 500 m pour éviter l'obstacle à une altitude de 250 m.

Première section :

Longueur : **4 500 m** ;
Pente : **2%**.

$$\text{Altitude admissible à 4 000m : } (4\ 500 \times 0,02) + 61 = \mathbf{151 \text{ m}}$$

Deuxième section :

Longueur : **4 100 m** ;
Pente : **2,5%**.

$$\text{Altitude admissible à 3 600m : } (4\ 100 \times 0,025) + 151 = \mathbf{253,5 \text{ m.}}$$

Section horizontale :

Longueur : **8 400 m** ;
Longueur total : **15 000 m**.

L'altitude admissible après application des pentes précédentes est de **253,5 m**. D'où le Cap d'Ambre qui se trouve à 6 655 m du seuil 13 à 250 m d'altitude n'est plus un problème.

➤ **Surface de transition :**

Pente : **14,3%**.

➤ **Surface intérieur de transition :**

Pente : **33,3%**.

➤ **Surface d'atterrissage interrompu :**

Longueur du bord intérieur : **120 m** ;

Distance au seuil : **1 800 m** ;

Divergence (de part et d'autre) : **10%** ;

Pente : **3,33%**.

➤ **Surface de montée au décollage :**

Le tableau de référence donne les valeurs suivantes pour un aérodrome de chiffre de code 4 :

Longueur du bord intérieur : **180 m** ;

Distance par rapport à l'extrémité de la piste : **60 m** ;

Divergence (de part et d'autre) : **12,5%** ;

Largeur finale : **1 200 m** ;

Longueur : **15 000 m** ;

Pente : **2%**.

PROPOSITION DE SOLUTION

Comme la distance de prolongement est de **$3\ 610\ m - 2\ 500\ m = 1\ 110\ m$** .

Pour pouvoir éviter la colline d'Ambre, il faut prolonger la piste de :

610 m au seuil 13 et 500 m au seuil 31.

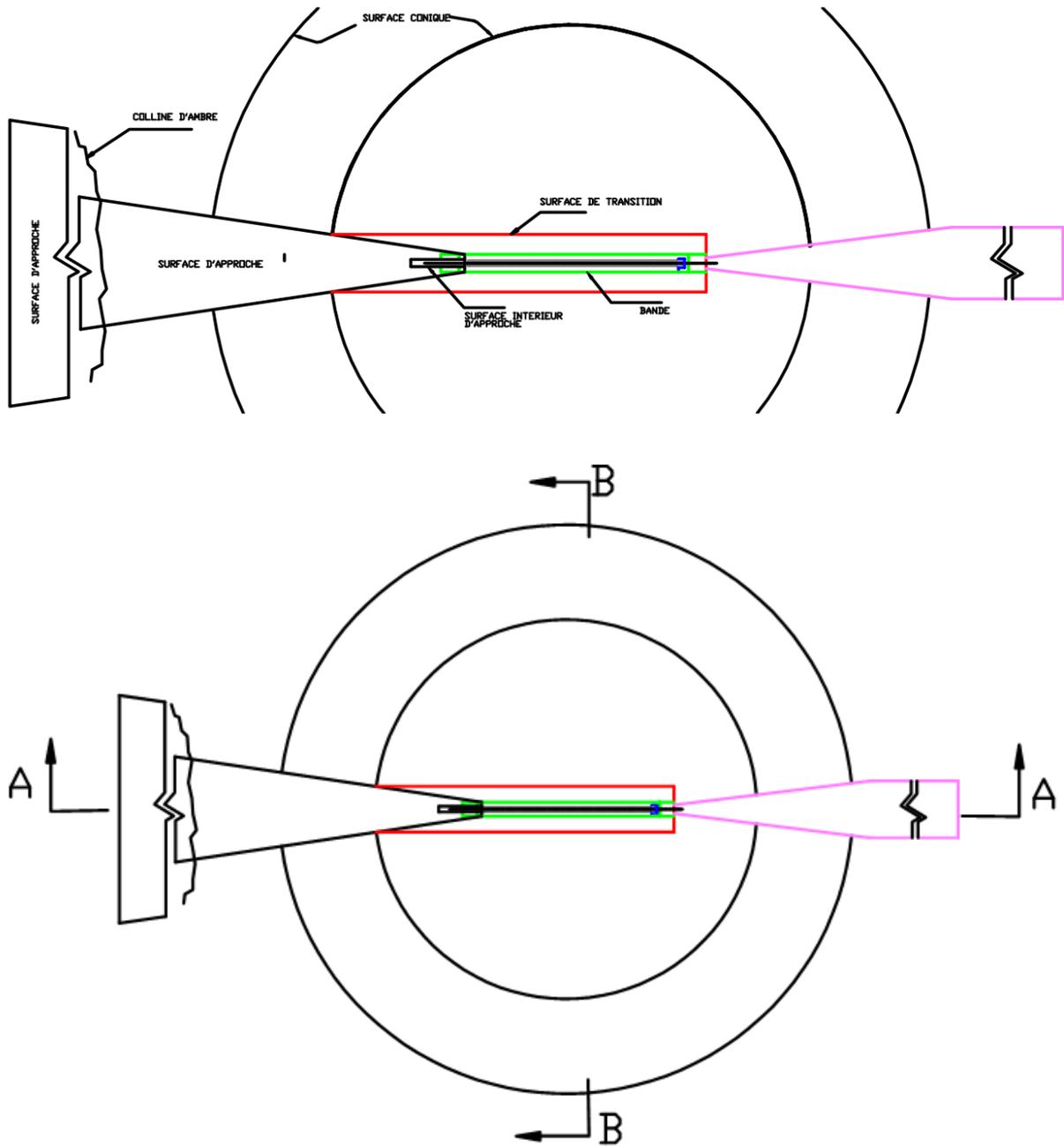


Figure 28: Surface de limitation d'obstacle vue en plan

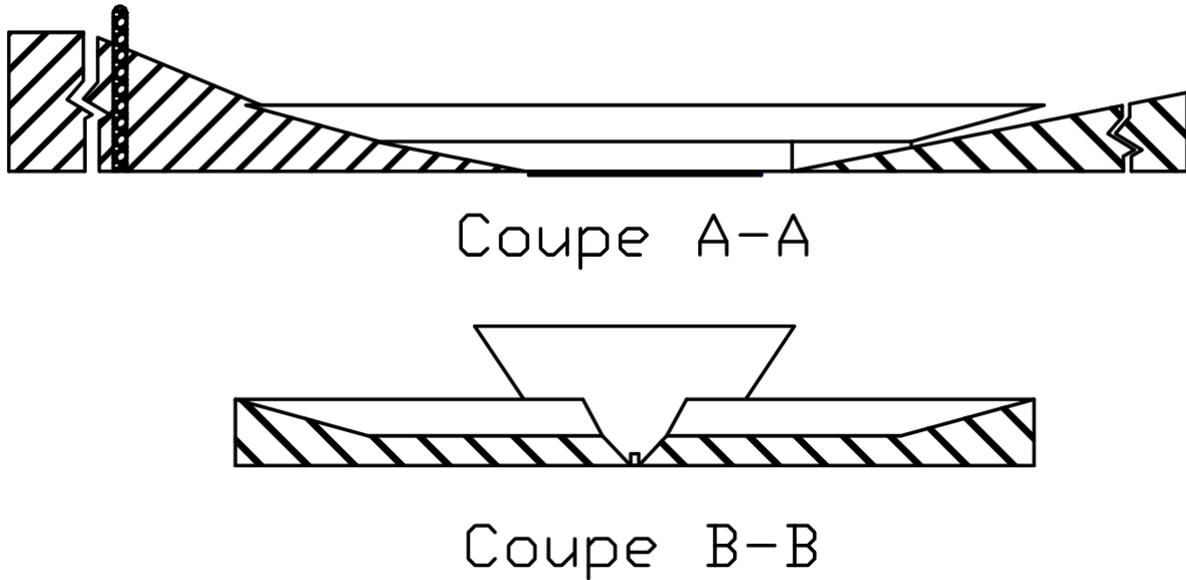


Figure 29: Coupe de la surface de limitation d'obstacle

3. Largeur de piste

Compte tenu du code de référence **4F** de l'aérodrome, la largeur de la piste ne sera pas inférieure à 60 m.

Pour la planification, la largeur de la piste est **60 m**.

4. Accotements

Etant donné la lettre de code F de l'aérodrome, il est recommandé que des accotements de piste soient aménagés pour protéger les extrémités latérales de la piste contre l'érosion du sol par souffle des réacteurs par des débits. La largeur de chaque accotement du bord de piste sera :

$$(75 - 60)/2 = 7,5 \text{ m}$$

Pour la planification, la largeur des accotements est de **7,5 m**.

5. Prolongement dégagé (CWY) et prolongement d'arrêt (SWY)

- Le prolongement dégagé aura les dimensions suivantes :

Largeur : **150 m** ;

Longueur : **100 m**.

- Le prolongement d'arrêt :

Largeur : **60 m** ;

Longueur : **60 m**.

6. La bande

Pour des raisons de sécurité des aéronefs en cas de sortie de piste, une bande de piste s'étend comme suit pour un aérodrome de code de référence 4F :

- ✓ Longitudinalement : **60 m** en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt ;
- ✓ Transversalement : **150 m** de part et d'autre de l'axe de la piste.

7. L'aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA)

Compte tenu du chiffre 4 du code de référence de l'aérodrome et d'une piste utilisée aux instruments, cette aire aura les dimensions suivantes sur les deux seuils :

Longueur : **300 m** à partir de l'extrémité de la bande de piste ;

Largeur : **300 m**.

8. La raquette de retournement

La raquette de retournement sert à la pratique du demi-tour des avions. Elle est de même structure que la piste, et ses caractéristiques sont données dans la figure suivante :

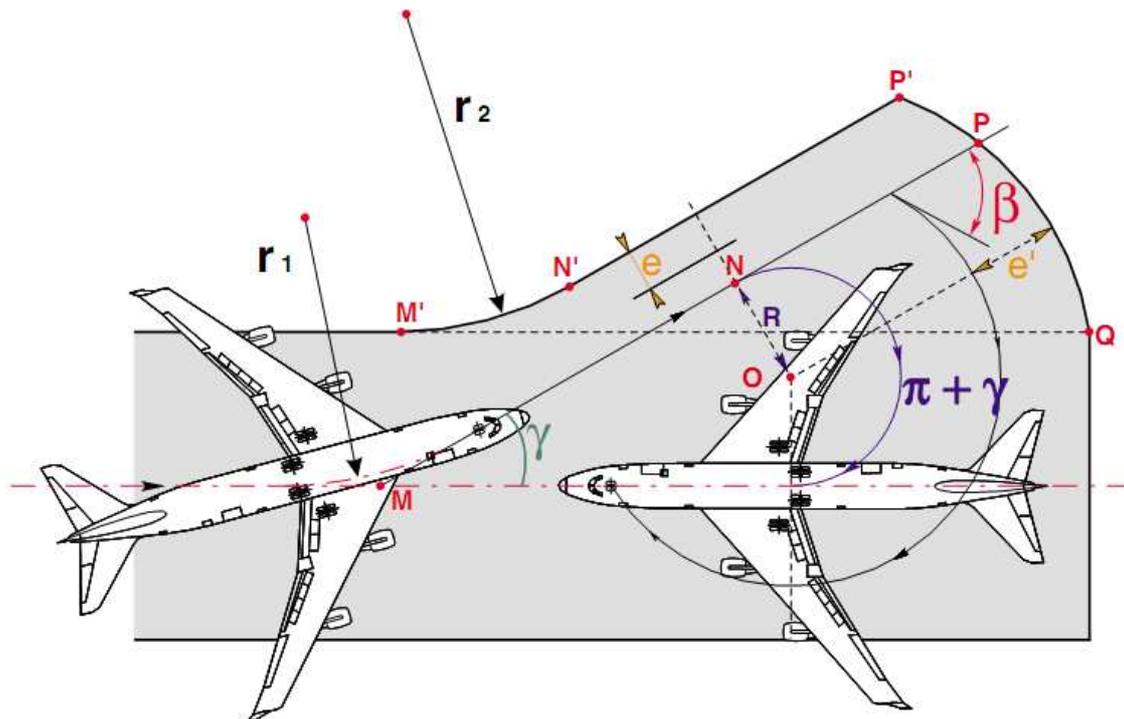


Figure 30: Caractéristiques géométriques de la raquette de retournement

Tableau 52: Valeurs des marges pour la raquette de retournement

	Code lettre					
	A	B	C	D	E	F
Marge	1,50	2,25	3 (a) ou 4,50 (b)	4,50	4,50	4,50
Marge e'	1,50	2,25	5,70 (a) ou 8,80 (b)	8,80	8,80	8,80

(a) si la raquette est destinée à des avions dont l'empattement est inférieur à 18 m ;
 (b) si la raquette est destinée à des avions dont l'empattement est supérieur ou égal à 18 m.

Pour la construction de cette piste on a pris les valeurs suivantes :

Marque de dégagement : $e_r = 4,50 \text{ m}$;

Marque de sécurité spécifique : $e' = 8,80 \text{ m}$;

Les angles : $\gamma = 30^\circ$ et $\theta = 65^\circ$;

Les distances : $N'P' = 40,87 \text{ m}$; $P'P = 11,67 \text{ m}$; $NP = 37,41 \text{ m}$; $MN = 53,51 \text{ m}$;

Les rayons : $R = 14,34 \text{ m}$; $R_1 = 50 \text{ m}$; $R_2 = 50 \text{ m}$.

III- LES AIDES VISUELLES A LA NAVIGATION

1. Indicateur de vent

L'indicateur de vent aura les caractéristiques suivantes :

Forme : tronc de cône ;

Matière : tissu ;

Longueur : supérieur à 3,6 m ;

Diamètre : supérieur à 0,90 m ;

Couleur : rouge et blanche disposées en cinq bandes dont la dernière est rouge.

2. Marque de la piste

Les marques de piste seront de couleur blanche.

a- Marque d'identification

Les marques d'identification seront données par la valeur de l'orientation des pistes par rapport au Nord magnétique, ces valeurs seront de 13 et 31.

Emplacement : 12 m des marques de seuil de piste ;

Hauteur : 9 m.

b- Marques d'axe

Les marques d'axe de piste seront disposées à 12 m des marques d'identification, et ils auront les dimensions suivantes :

Longueur : 30 m ;

Largeur : 0,45 m ;

Espacement : 20 m.

c- Marques de seuil

Les bandes qui marquent le seuil commenceront à 6 m du seuil. Compte tenu du code de référence 4F de l'aérodrome, on aurait les dimensions suivantes :

Nombre de bande : 16 ;

Longueur : 30 m ;

Largeur : 1,80 m ;

Espacement : 1,80 m.

d- Marques de point de cible

Les marques de point de cible seront disposées à chaque extrémité d'approche d'une piste à l'instrument dont les chiffres de code de référence sont de 4F et aura pour dimensions :

Distance entre le seuil et le début de la marque : 300 m ;

Longueur des bandes : 60 m ;

Largeur des bandes : 10 m ;

Ecartement entre les bords intérieurs des bandes : 22,5 m.

e- Marques de zone de toucher des roues

Des marques de zone de toucher des roues seront disposées dans la zone de toucher des roues d'une piste en dur avec approche de précision dont le chiffre de code de référence est **4**. Pour une distance à l'atterrissage de 2103 m, **4 paires** de marques seront nécessaires.

f- Marque d'aire de demi-tour sur la piste

Vu que le numéro de code de référence est **4**, la marque d'aire de demi-tour sur piste se prolonge en parallèle avec la marque axiale de piste sur une distance de 60 m au-delà du point de tangence.

La marque axial d'aire de demi-tour sur piste aura **au moins 15 cm** de largeur et sera continue dans la longueur.

3. Marque de voie de circulation

Les marques des voies de circulation sont de couleur jaune.

a- Marque axial

Les marques de voie de circulation auront au moins 15 cm de largeur et seront interrompues, sauf lorsqu'elles coupent des marques de point d'attente avant piste.



Figure 31: Marque axial

b- Marques de point d'attente avant piste

Pour seul et unique point d'attente avant piste prévue à l'intersection d'une voie de circulation et d'une piste avec approche de précision de catégorie I, le marque de point d'attente se présentera comme il est indiqué dans le schéma suivant :

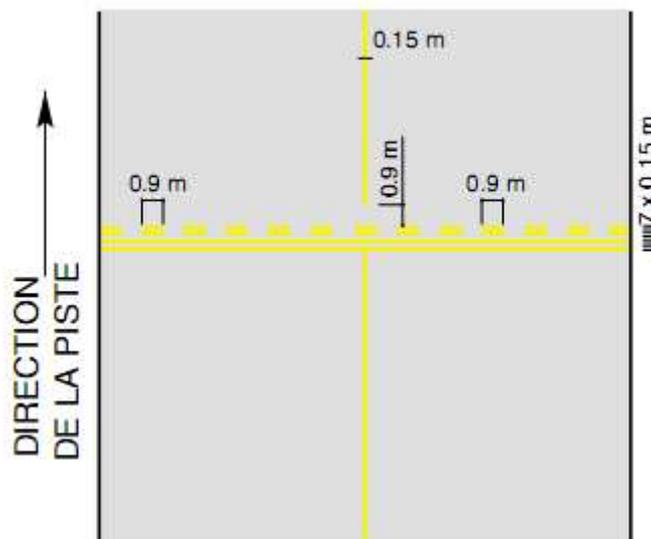


Figure 32: Marque de point d'attente avant piste

➤ **Marque de poste de stationnement d'aéronef**

Il est recommandé que les marques de poste de stationnement d'aéronef comprennent notamment, selon la configuration de stationnement et en complément des autres aides de stationnement, les éléments suivants :

- ✓ Une marque d'identification de poste de stationnement ;
- ✓ Une ligne d'entrée ;
- ✓ Une barre de virage ;
- ✓ Une ligne de virage ;
- ✓ Une barre d'alignement ;
- ✓ Une ligne d'arrêt ;
- ✓ Une ligne de sortie.

➤ **Ligne de sécurité d'aire de trafic**

Les lignes de sécurité d'aire de trafic seront situées de manière à délimiter les zones destinées à être utilisées par les véhicule au sol et autre matériel d'avitaillement et d'entretien des aéronefs, afin d'assurer une démarcation de sécurité par rapport aux aéronefs.

Il est recommandé qu'une ligne de sécurité d'aire de trafic soit une ligne continue d'une largeur d'au **moins 10 cm**.

➤ **Marques de point d'attente sur voie de service**

Des marques de point d'attente sur voie de service seront disposées à tous les raccordements entre une voie de service et une piste.

Elles seront placées en travers de la voie, au point d'attente et conforme à la réglementation routière locale.

c- Les feux

➤ **Dispositifs lumineux d'approche**

Un dispositif lumineux d'approche de précision, catégorie I, sera placé du côté du seuil 13 sur une distance de 900 m avec les caractéristiques suivantes :

Distance à partir du seuil de piste : 30 m ;

Espacement des feux : 30 m ;

Barre transversale de feux :

✘ Emplacement à partir du seuil : 300 m ;

✘ Longueur : 30 m.

➤ **Indicateur visuels due pente d'approche**

Un dispositif PAPI sera installé du côté du seuil 13 et placé à gauche de la piste avec les dimensions présentées sur le schéma suivant :

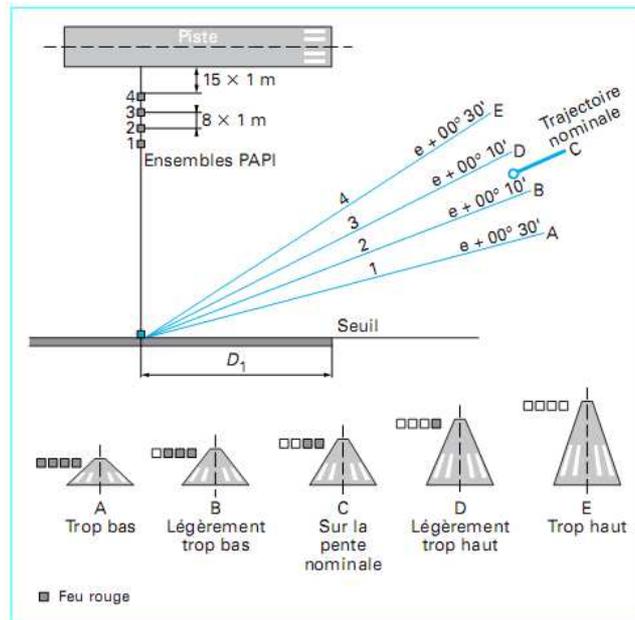


Figure 33: PAPI (precision approach path indicator)

➤ **Feux de bord de piste**

Des feux de bord de piste seront disposés parallèlement sur toute la longueur de la piste et auront les caractéristiques suivantes :

Emplacement : 3 m du bord (côté extérieur) ;

Espacement : 60 m ;

Couleur : blanche.

➤ **Feux de seuil de piste**

Des feux de seuil de piste seront disposés perpendiculairement à l'axe de la piste comme suit :

Emplacement : 2 m du seuil de piste (côté extérieur) ;

Espacement : 3 m ;

Couleur : blanche et rouge ;

Orientation : vers l'approche.

➤ **Feux d'extrémité de piste**

Des feux d'extrémité de piste seront disposés perpendiculairement à l'axe de la piste comme suit :

Emplacement : 1 m de l'extrémité de la piste (côté extérieur) ;

Espacement : 5 m ;

Couleur : rouge ;

Orientation : vers la piste.

➤ **Feux de prolongement d'arrêt**

Les feux seront disposés sur toute la longueur du prolongement d'arrêt et auront les caractéristiques suivantes :

Emplacement : 3 m du bord (côté extérieur) ;

Espacement : 60 m ;

Couleur : rouge ;

Orientation : vers la piste.

➤ **Feux de bord de voie de circulation**

Des feux de bord de voie de circulation seront disposés parallèlement à la voie de circulation comme suit :

Emplacement : 3 m du bord (côté extérieur) ;

Espacement : 60 m ;

Couleur : bleue.

➤ **Feux d'aire de demi-tour de piste**

Des feux d'aire de demi-tour de piste seront disposés le long des marques d'aire de demi-tour avec les caractéristiques ci-après :

Emplacement décalé de 30 cm du bord ;

Espacement : 15 m ;

Couleur : verte.

➤ **Barre d'arrêt**

Des barres d'arrêt seront disposées à chaque point d'attente avant piste et transversalement à la voie de circulation avec les caractéristiques suivantes :

Emplacement : 3 m (côté extérieur) ;

Espacement : 3m ;

Couleur : rouge.

➤ **Eclairage des aires de trafics**

L'éclairage de cette aire requiert que le niveau moyen d'éclairement soit au moins égal aux niveaux suivants :

- Poste de stationnement d'aéronef

Eclairement horizontal : 20 lx, avec un facteur d'uniformité (intensité moyenne / intensité minimale) ne dépassant pas 4/1 ;

Eclairement vertical : 20 lx à une hauteur de 2 m au dessus de l'aire de trafic dans les directions appropriées.

- Autres zones

Eclairement horizontal : 50% du niveau moyen d'éclairement sur les poste de stationnement d'aéronef, avec un facteur d'uniformité (intensité moyenne / intensité minimale) ne dépassant pas 4/1.

➤ **Feux de guidage pour les manœuvres sur poste de stationnement d'aéronef**

Des feux de guidage pour les manœuvres sur poste de stationnement seront disposés avec les marques de poste de stationnement dont les caractéristiques sont comme suit :

Espacement :

- ✘ Dans la courbe : 7,5 m ;
- ✘ Sur les sections rectilignes : 15 m ;

Couleur : jaune.

d- Panneaux de signalisation

➤ **Les panneaux d'obligation :**

Les panneaux d'obligation porteront une inscription blanche sur fond rouge comme indiqué dans l'annexe A-III.

➤ **Les panneaux d'indication :**

Les panneaux d'indication porteront une inscription de couleur noire sur fond jaune comme indiqué dans l'annexe A-III.

➤ **Panneau indicateur de point de vérification VOR d'aérodrome :**

Le panneau indicateur de point de vérification VOR d'aérodrome portera une inscription de couleur noire de fond jaune comme indiqué dans l'annexe A-III.

CONCLUSION PARTIELLE

L'historique de l'aérodrome d'Andrakaka et des sondages effectués dans des différentes aires de mouvement ont permis d'établir diverses structures de la chaussée existante ainsi que son épaisseur.

Cependant pour transformer la code de référence de l'aérodrome 1D en code de référence 4F, il est nécessaire d'apporter à l'aérodrome quelque évolution dont :

- Le prolongement de certaine partie de l'aire de mouvement ;
- L'installation des aides visuelles à la navigation.

Le chapitre suivant va montrer le renforcement de la chaussée

Chapitre IV : RENFORCEMENT DE LA CHAUSSE

I- DETERMINATION DES PARAMETRES DE CALCUL

Les paramètres de calcul de renforcement sont l'épaisseur équivalente nécessaire et l'épaisseur de la chaussée existante.

Le calcul de la première fait intervenir les caractéristiques de l'avion. Cependant, avant de procéder au calcul, une vérification doit être faite au préalable si une chaussée nécessite un renforcement ou non et ce, à partir de l'ACN de l'avion et du PCN de la chaussée.

1. Les atterrisseurs de l'avion critique

L'Airbus dispose de quatre atterrisseurs principaux dont deux atterrisseurs principales carlingues à six roues et deux atterrisseurs principaux sous l'aile à quatre roues.

La répartition des charges sur ces atterrisseurs est :

- ✓ 28,5% sur un seul atterrisseur principal carlingue à six roues ;
- ✓ 19% sur un seul atterrisseur principal sous l'aile à quatre roues.

Les 5% des charges sont donc supportées par l'atterrisseur avant.

La figure suivante indique la disposition de ces atterrisseurs principaux. Du point de vue répartition des charges sur les roues, on voit que chaque roue des atterrisseurs principaux supporte 4,75% des charges de l'avion.

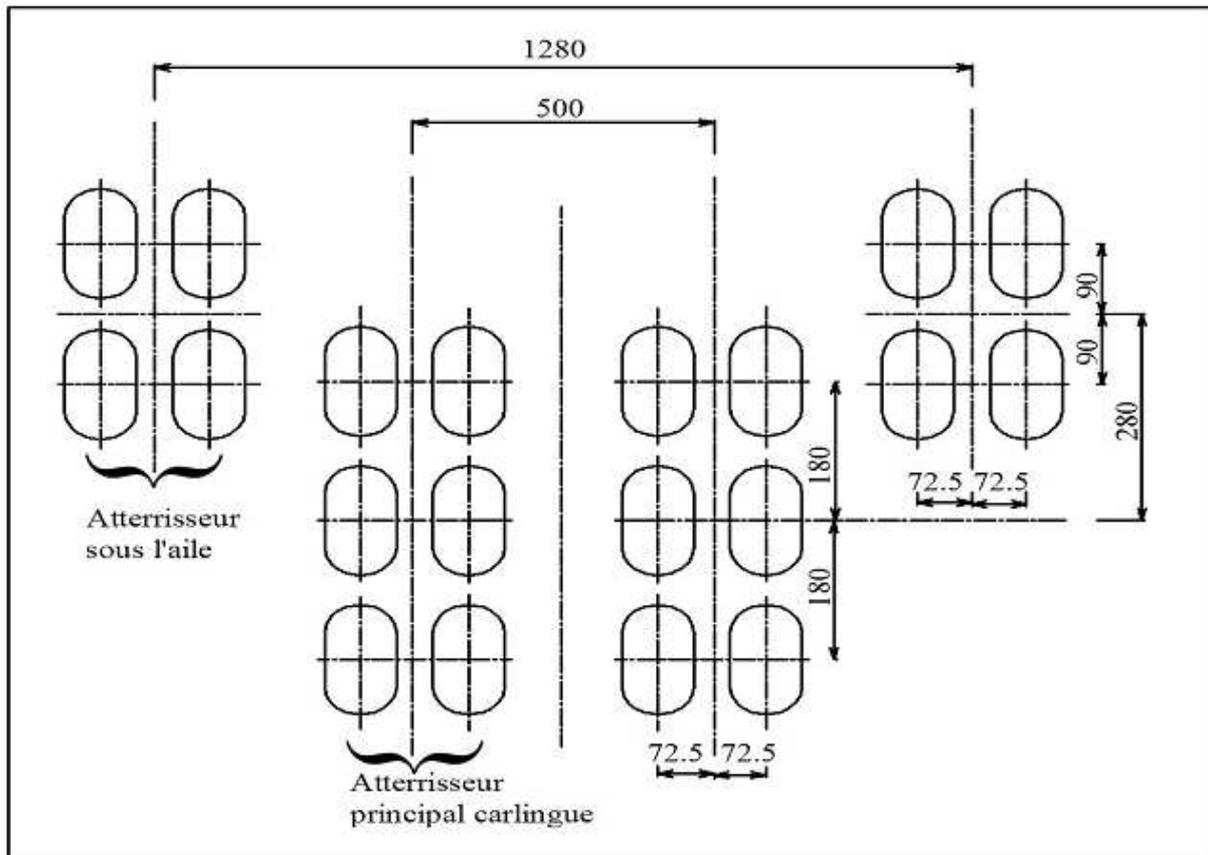


Figure 34: Disposition des atterrisseurs principaux

Du fait de l'existence de deux atterrisseurs principaux différents, les charges sur Roue Simple Equivalente (RSE) sont de même différentes. Ce qui implique qu'il y a aussi deux sortes d'ACN dont l'un pour les atterrisseurs principaux carlingues et l'autre pour ceux sous l'aile. Tout cela est illustré par les tableaux suivants.

Tableau 53: ACN due à l'atterrisseur principal carlingue

Masse maximale et minimale (Kg)	Charge sur un atterrisseur principal carlingue (%)	Numéro de classification d'aéronef (ACN)							
		Terrain de fondation des chaussées souples- CBR				Terrain de fondation des chaussées rigides- K (MN/m ³)			
		Elevé	Moyen	Faible	Très faible	Elevé	Moyen	Faible	Très faible
551 400	28,5	56	62	75	106	55	67	88	110
275 800		23	25	28	36	26	27	31	38

Tableau 54: ACN de l'atterrisseur principal sous l'aile

Masse maximale et minimale (Kg)	Charge sur un atterrisseur principal carlingue(%)	Numéro de classification d'aéronef (ACN)							
		Terrain de fondation des chaussées souples- CBR				Terrain de fondation des chaussées rigides- K (MN/m ³)			
		Elevé	Moyen	Faible	Très faible	Elevé	Moyen	Faible	Très faible
551 400	19	62	68	80	108	55	64	76	88
275 800		27	28	31	39	25	26	30	35

D'après ces tableaux, on voit que les ACN dus à l'atterrisseur principal sous l'aile sont supérieurs aux ACN dus à l'atterrisseur principale carlingue pour les chaussées souples. Cela veut dire que la première est plus agressive que la seconde pour les chaussées souples. En revanche, c'est l'inverse pour le cas des chaussées rigides, c'est-à-dire que l'atterrisseur principale carlingue est plus agressive que celle sous l'aile en chaussées rigides.

Caractéristique des atterrisseurs

- Charge sur un atterrisseur principal :

➤ Carlingue :

$$P = 551,4 \times 0,285 = \underline{157,149 T}$$

➤ Sous l'aile :

$$P = 551,4 \times 0,19 = \underline{104,766 T}$$

- Pression des pneus : $q = 1,47 \text{ MPa} = 147 \text{ T/m}^2$;
- Voie : $S = 1,45 \text{ m}$;
- Empattement : $S_T = 1,80 \text{ m}$;
- S ou S_D : la distance de centre à centre séparant cette roue de référence de la roue la plus éloignée.

$$\underline{S_D = 2,31 \text{ m}}$$

- d : la plus petite distance mesurée intérieurement des deux empreintes voisines.

➤ Carlingue :

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

$$d = 1,45 - 0,26 \sqrt{\frac{157,149}{147}}$$

$$\underline{d = 1,18 \text{ m}}$$

➤ Sous l'aile :

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

$$d = 1,45 - 0,26 \sqrt{\frac{104,766}{147}}$$

$$\underline{d = 1,23 \text{ m}}$$

- Rayon de surface de contact des roues a :

$$a = \sqrt{\frac{p}{\pi \times q}}$$

p : Charge sur une roue.

$$p = 0,0475 \times 551,4$$

$$\underline{p = 26,19 \text{ T}}$$

$$a = \sqrt{\frac{26,19}{\pi \times 147}}$$

$$\underline{a = 23,81 \text{ cm}}$$

2. Caractéristiques des chaussées souples

Les caractéristiques de la chaussée de chaque aire sur laquelle doit passer l'Airbus A380 peuvent être résumées dans le tableau suivant.

Tableau 55: Caractéristiques des chaussées souples de l'aéroport

Aires	N° structures	Matériaux	Epaisseur réelle	Coefficients d'équivalence	Epaisseur (m)
Piste	1 CBR = 10	Béton Bitumineux	5	2	10
		Grave Bitume	6	1,5	9
		Grave Concassée Non Traitée 0/31 ⁵	16	1	16
		Epaisseur équivalente totale $e_{\text{éq exi}}$:			
Aire de stationnement	2 CBR = 10	Béton Bitumineux	5	2	10
		Grave Bitume	9	1,5	13,5
		Grave Concassée Non Traitée 0/31 ⁵	22	1	22
		Epaisseur équivalente totale $e_{\text{éq exi}}$:			
Voie de circulation	3 CBR = 10	Béton Bitumineux	5	2	10
		Grave Bitume	7	1,5	10,5
		Grave Concassée Non Traitée 0/31 ⁵	20	1	20
		Epaisseur équivalente totale $e_{\text{éq exi}}$:			

$e_{\text{éq exi}}$: épaisseur équivalente de la chaussée existante.

Contrainte admissible :

- ❖ La contrainte radiale admissible au niveau de chaque couche est en général de l'ordre de $\sigma_{r,adm} = 2,5 \text{ MPa}$;
- ❖ La contrainte verticale admissible au niveau de chaque couche est en général de l'ordre de $\sigma_{z,adm} = 1 \text{ MPa}$;
- ❖ La contrainte verticale admissible retenue au niveau du sol support est normalement $\sigma_{z,adm} = 0,12 \text{ MPa}$ (source : LNTPB).

3. Calcul de PCN/ACN

a- Calcul de PCN

Connaissant l'épaisseur équivalente de la chaussée et le CBR_{4j} du sol support, on peut calculer le PCN à l'aide de la formule :

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e_{\text{éq exi}}^2}{\frac{1}{0,57 \cdot \text{CBR}} - 0,025}$$

➤ Pour la structure 1 (Piste) :

$\text{CBR} = 10, k = 1, e_{\text{éq exi}} = 35 \text{ cm}$;

On a $PCN = 17$

➤ Pour la structure 2 (Aire de stationnement) :

$\text{CBR} = 10, k = 1,2, e_{\text{éq exi}} = 45,5 \text{ cm}$;

On a $PCN = 23$

➤ Pour la structure 3 (Voie de circulation) :

$\text{CBR} = 10, k = 1, e_{\text{éq exi}} = 40,5 \text{ cm}$;

On a $PCN = 22$

b- Détermination de l'ACN et comparaison avec le PCN

Comme on a évoqué précédemment que l'atterrisseur principale sous l'aile est plus agressive que celle carlingue en chaussées souple.

De ce fait, on va choisir les ACN correspondant à cette atterrisseur pour être comparés aux PCN calculés.

Or le CBR des trois structures est égal à 10. Alors ils sont tous de Classe B qui a une **ACN = 68**.

On peut constater que les PCN des trois structures (17, 23, 22) sont inférieurs à l'ACN correspondante au sol support.

$$**PCN < ACN**$$

Par conséquent on doit renforcer les trois structures pour pouvoir recueillir un A 380-800.

II- DIMENSIONNEMENT DE RENFORCEMENT DE LA CHAUSSÉ SOUPLE

On utilise la méthode forfaitaire pour le calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire.

1. Calcul de la charge sur Roue Simple Equivalente (RSE)

Correction de la charge sur atterrisseur

La charge sur atterrisseur doit être corrigé en tenant compte la fonction de l'aire et le nombre de mouvement.

Le nombre de mouvement estimé pour l'Airbus A380 est de 1 mouvement par jour pendant 10 ans.

$$P' = K \times P$$

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

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

➤ **Pour la piste et la voie de circulation :**

$$K = 1, n = 1,$$

- Pour l'atterrisseur principal carlingue :

$$P'' = \frac{551,4 \times 0,285}{1,2}$$

$$P'' = 130,958 T$$

- Pour l'atterrisseur principal carlingue :

$$P'' = \frac{551,4 \times 0,19}{1,2}$$

$$P'' = 87,305 T$$

➤ **Pour l'aire de stationnement :**

$$K = 1,2 ; n = 1,$$

- Pour l'atterrisseur principal carlingue :

$$P'' = \frac{551,4 \times 0,285 \times 1,2}{1,2}$$

$$P'' = 157,149 T$$

- Pour l'atterrisseur principal carlingue :

$$P'' = \frac{551,4 \times 0,19 \times 1,2}{1,2}$$

$$P'' = 104,766 T$$

Calcul de la profondeur z :

$$z = a \frac{\left(1 - \frac{\sigma_{zadm}}{q}\right)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{1 - \left(1 - \frac{\sigma_{zadm}}{q}\right)^{\frac{2}{3}}}}$$

Mémoire de fin d'études : Analyse technique et proposition de solutions

Pour $\sigma_{zadm} = 0,12$ MPa, $q = 1,47$ MPa, $a = 23,81$ cm

On a : **$Z = 98,51$ cm**

Et comme **$d/2 = 59$ cm** pour l'atterrisseur carlingue et **$d/2 = 61,5$ cm** pour l'atterrisseur sous l'aile ; **$2S_D = 462$ cm**.

Alors **$d/2 < Z < 2S_D$**

Calcul de la Roue Simple Equivalent (RSE)

$$RSE = Pat \left(\frac{Z}{2S} \right)^\alpha \text{ avec } \alpha = \frac{\log v}{\log \frac{4S}{d}}$$

Et $P_{at} = P''$

- **Concernant la piste et la voie de circulation**

- **Pour l'atterrisseur principal carlingue qui a 6 roues**

Pat = 130,958 T ; $\alpha = 0,871$.

$Z = 98,51$ cm ; RSE = 34,084 T

- **Pour l'atterrisseur principal sous l'aile qui a 4 roues**

Pat = 87,305 T ; $\alpha = 0,687$.

$Z = 98,51$ cm ; RSE = 30,196 T

- **Concernant l'aire de stationnement**

- **Pour l'atterrisseur principal carlingue qui a 6 roues**

Pat = 157,149 T ; $\alpha = 0,871$.

$Z = 98,51$ cm ; RSE = 40,901 T

- **Pour l'atterrisseur principal sous l'aile qui a 4 roues**

Pat = 104,766 T ; $\alpha = 0,687$.

$Z = 98,51$ cm ; RSE = 36,233 T

2. Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire

$$\text{Comme } \frac{CBR}{q} < 20, \text{ alors } e_{\text{éq nec}} = \sqrt{P \left(\frac{1}{0,57CBR} - \frac{1}{32q} \right)}$$

Avec P = RSE en Kg.

- **Pour la piste et la voie de circulation**

- **Pour l'atterrisseur carlingue**

P = 34 084 Kg ; CBR = 10 ; q = 1,47 MPa.

$$e_{\text{éq nec}} = 72,49 \text{ cm}$$

- **Pour l'atterrisseur sous l'aile**

P = 30 196 Kg ; CBR = 10 ; q = 1,47 MPa.

$$e_{\text{éq nec}} = 68,23 \text{ cm}$$

- **Pour l'aire de stationnement**

- **Pour l'atterrisseur carlingue**

P = 40 901 Kg ; CBR = 10 ; q = 1,47 MPa.

$$e_{\text{éq nec}} = 79,41 \text{ cm}$$

- **Pour l'atterrisseur sous l'aile**

P = 36 233 Kg ; CBR = 10 ; q = 1,47 MPa.

$$e_{\text{éq nec}} = 74,74 \text{ cm}$$

3. Calcul de l'épaisseur de renforcement

Pour la piste et la voie de circulation on a choisi 72,49 cm comme épaisseur équivalente nécessaire pour le calcul de l'épaisseur de renforcement et 79,41 cm pour l'aire de stationnement.

L'épaisseur réelle de renforcement sera déterminée par la formule :

$$e_{\text{réelle}} = \frac{e_{\text{éq nec}} - e_{\text{éq exi}}}{a}$$

Avec a : coefficient d'équivalence du matériau de renforcement

- Pour la piste

On prend comme matériau de renforcement le Béton Bitumineux dont **a = 2**

$$e_{\text{réelle}} = \frac{72,49 - 40,5}{2}$$

$$e_{\text{réelle}} = 15,995 \text{ cm}$$

On peut remarquer que l'épaisseur réelle est trop grande pour le Béton Bitumineux.

Alors on fixe le Béton Bitumineux à 5 cm.

D'où la formule de détermination de la seconde couche est :

$$e'_{\text{réelle}} = \frac{e_{\text{éq néc}} - e_{\text{éq exi}} - a_1 e_1}{a}$$

On choisissant comme seconde couche la Grave Bitume dont **a = 1,5**

$$e'_{\text{réelle}} = \frac{72,49 - 35 - (5 \times 2)}{1,5}$$

$$e'_{\text{réelle}} = 18,33 \text{ cm}$$

Comme l'épaisseur moyenne de la Grave Bitume pour la piste est de 16 cm pour cause de compactage, alors on fixe son épaisseur réelle à 16 cm.

D'où la formule de détermination de la troisième couche est :

$$e''_{\text{réelle}} = \frac{e_{\text{éq néc}} - e_{\text{éq exi}} - a_1 e_1 - a_2 e_2}{a}$$

On préfère comme troisième couche le Grave Concassée Non Traitée dont **a = 1**

$$e''_{\text{réelle}} = \frac{72,49 - 35 - (5 \times 2) - (1,5 \times 16)}{1,5}$$

$$e''_{\text{réelle}} = 3,49 \text{ cm}$$

D'où on prend 5 cm d'épaisseur pour le GCNT 0/31⁵.

Comme on veut que la largeur de la piste soit de **60 m**, on ajoute du GCNT 0/315 comme fondation pour la dimension qui dépasse.

$$\text{Largeur} = (\text{largeur pour A380-800} - \text{largeur existant})/2$$

$$\text{Largeur} = (60 - 45)/2$$

$$\text{Largeur} = 7,5 \text{ m}$$

Alors on met **34 cm** de GCNT 0/31⁵ à **7,5 m** de chaque côté de la piste.

- Pour la voie de circulation

On prenant comme matériau de renforcement le Béton Bitumineux dont **a = 2**

$$e_{réelle} = \frac{72,49 - 35}{2}$$

$$e_{réelle} = 18,75 \text{ cm}$$

On peut remarquer que l'épaisseur réelle est trop grande pour le Béton Bitumineux.

Alors on fixe le Béton Bitumineux à 5 cm.

D'où la formule de détermination de la seconde couche est :

$$e'_{réelle} = \frac{e_{éq \text{ néc}} - e_{éq \text{ exi}} - a_1 e_1}{a}$$

On choisissant comme seconde couche la Grave Bitume dont **a = 1,5**

$$e'_{réelle} = \frac{72,49 - 40,5 - (5 \times 2)}{1,5}$$

$$e'_{réelle} = 14,66 \text{ cm}$$

Pour faciliter la mise en œuvre on prend **15 cm** comme épaisseur de la Grave Bitume.

A cause de la code de référence **F** : la largeur de la voie de circulation est de **25 m**. D'où la largeur existant, qui est de **28 m**, est largement suffisante pour l'A380-800.

- Pour l'aire de stationnement

On prenant comme matériau de renforcement le Béton Bitumineux dont **a = 2**

$$e_{réelle} = \frac{79,41 - 45,5}{2}$$

$$e_{réelle} = 16,955 \text{ cm}$$

On peut remarquer que l'épaisseur réelle est trop grande pour le Béton Bitumineux.

Alors on fixe le Béton Bitumineux à **5 cm**.

D'où la formule de détermination de la seconde couche est :

$$e'_{réelle} = \frac{e_{éq \text{ néc}} - e_{éq \text{ exi}} - a_1 e_1}{a}$$

On choisissant comme seconde couche la Grave Bitume dont **a = 1,5**

$$e'_{réelle} = \frac{79,41 - 45,5 - (5 \times 2)}{1,5}$$

$$e'_{réelle} = 15,94 \text{ cm}$$

Comme l'épaisseur moyenne de la Grave Bitume est de **16 cm** pour cause de compactage, alors on fixe son épaisseur réelle à **16 cm**.

Pour cause de critère dimensionnel du code référence **4F**, l'aire de stationnement doit avoir une longueur de **700 m** et une largeur de **150 m**. Or l'aire de stationnement existant n'a qu'une longueur de **200 m** et une largeur de **100 m**. Alors il est nécessaire de mettre **36 cm** de GCNT 0/31⁵ à **250 m** de chaque côté de la longueur et **50 m** de la largeur de la chaussée existante.

III- DIMENSIONNEMENT DE RENFORCEMENT DE LA CHAUSSEE RIGIDE

L'épaisseur équivalente du matériau enrobé de renforcement est calculée par la formule suivante :

$$e = 3,75(F \cdot h_t - h)$$

F et h_t sont déterminés dans l'abaque de renforcement de la chaussée rigide.

F = 0,85; $h_r = 20 \text{ cm}$; $h_t = 33,5 \text{ cm}$; $h = 20 \text{ cm}$.

$$e = 3,75(0,85 \times 33,5 - 20)$$
$$e = 31,78 \text{ cm}$$

Pour faciliter la construction on prend **e = 32 cm**.

Comme $e = \sum a_i e_i$.

Si on fixe l'épaisseur du Béton Bitumineux à **5 cm** avec **a = 2**. Alors on peut déterminer l'épaisseur de la Grave Bitume qui a une **a = 1,5**.

$$e_{réelle} = \frac{32 - 10}{1,5}$$

$$e_{réelle} = 14,66 \text{ cm}$$

Pour favoriser la mise en œuvre on prend **e = 15 cm**.

STRUCTURE DE LA CHAUSSEE APRES RENFORCEMENT

En tenant compte des épaisseurs de renforcement calculées précédemment, on obtient des nouvelles structures suivantes :

Tableau 56: Structure des chaussées souples après renforcement

<i>Aires</i>	<i>Types</i>	<i>Matériaux constitutifs</i>	<i>Coefficient d'équivalence</i>	<i>Epaisseur équivalente</i>	<i>Epaisseur réelle (cm)</i>
<i>Piste</i>	<i>Renforcement</i>	Béton Bitumineux	2	10	5
		Grave Bitume	1,5	24	16
		Grave Concassée Non Traitée	1	5	5
	<i>Ancienne chaussée</i>	Béton Bitumineux	2	10	5
		Grave Bitume	1,5	9	6
		Grave Concassée Non	1	16	16
Total				74	53
<i>Aire de stationnement</i>	<i>Renforcement</i>	Béton bitumineux	2	10	5
		Grave bitume	1,5	24	16
	<i>Ancienne chaussée</i>	Béton bitumineux	2	10	5
		Grave bitume	1,5	13,5	9
		Grave Concassée Non Traitée	1	22	22
Total				79,5	57
<i>Voie de circulation</i>	<i>Renforcement</i>	Béton bitumineux	2	10	5
		Grave bitume	1,5	22,5	15
	<i>Ancienne chaussée</i>	Béton bitumineux	2	10	5
		Grave bitume	1,5	10,5	7
		Grave Concassée Non Traitée	1	20	20
Total				73	52

Tableau 57: Structure de la chaussée rigide après renforcement

<i>Aires</i>	<i>Types</i>	<i>Matériaux constitutifs</i>	<i>Coefficient d'équivalence</i>	<i>Epaisseur équivalente</i>	<i>Epaisseur réelle (cm)</i>
<i>Piste</i>	<i>Renforcement</i>	Béton Bitumineux	2	10	5
		Grave Bitume	1,5	22,5	15
	<i>Ancienne chaussée</i>	Béton Ciment	2	40	20
		Grave Ciment	1,5	37,5	25
Total				110	65

IV- VERIFICATION DES CONTRAINTES

La chaussée est dimensionnée à partir des charges des atterrisseurs. Néanmoins, on doit vérifier les contraintes dues à ces charges au niveau des interfaces des couches pour s'assurer que l'ensemble chaussée sol support supporte bien la charge.

Le calcul de ces contraintes se fait par la méthode de JONES et PEATES qui transforme la structure multicouche en une structure tri couche.

1. Conversion des structures multicouches en structure tri couche

Cette conversion s'effectue en calculant successivement les épaisseurs équivalentes h' des couches intermédiaires, c'est-à-dire les couches comprises entre la couche de revêtement et le sol support.

$$h' = h_a + 0,9h_b \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_a}}$$

Module d'élasticité de différentes couches :

Pour pouvoir appliquer les formules ci-dessus, il est nécessaire de connaître les modules d'élasticité des matériaux des différentes couches.

Tableau 58: Module d'élasticité

Matériaux	Module d'élasticité E (bars)
<i>Béton Bitumineux</i>	25 000
<i>Grave Bitume</i>	15 000
<i>Grave Concassée Non Traitée</i>	4 000

Quant au sol support, son module est fonction de son CBR :

$$E = 50 \times CBR$$

Pour **CBR = 10** on a **E = 500 bar**

D'après la formule précédente, les matériaux ayant le même module d'élasticité peuvent être groupés en une seule couche et leurs épaisseurs s'ajoutent.

Tableau 59: Structure multicouche

<i>Désignations</i>	<i>Matériaux</i>	<i>Epaisseur</i>	<i>Module d'élasticité</i>
<i>Piste</i>	Béton Bitumineux	10	25 000
	Grave Bitume	22	15 000
	Graves Concassées Non Traitées 0/31 ⁵	21	4 000
	LAS rouge	∞	500
<i>Aire de stationnement</i>	Béton Bitumineux	10	25 000
	Grave Bitume	25	15 000
	Graves Concassées Non Traitées 0/31 ⁵	22	4 000
	LAS rouge	∞	500
<i>Voie de circulation</i>	Béton Bitumineux	10	25 000
	Grave Bitume	22	15 000
	Graves Concassées Non Traitées 0/31 ⁵	20	4 000
	LAS rouge	∞	500

Tableau 60: Structure tri couche équivalente

<i>Désignations</i>	<i>Couches</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>	<i>Module d'élasticité</i>
<i>Piste Structure 1</i>	Couche 1	10	25 000
	Couche 2	34	15 000
	Couche 3	∞	500
<i>Aire de stationnement Structure 2</i>	Couche 1	10	25 000
	Couche 2	38	15 000
	Couche 3	∞	500
<i>Voie de circulation Structure 3</i>	Couche 1	10	25 000
	Couche 2	34	15 000
	Couche 3	∞	500

2. Calcul des contraintes

Le calcul de ces contraintes s'effectue en utilisant l'abaque de JONES qui fait intervenir de nombreux paramètres : K_1 , K_2 , A_1 , H .

Les données de calcul pour toutes les pistes sont : $q = 1,47$ MPa, $a = 23,81$ cm.

Les données de calcul pour chaque piste sont : h_1 , h_2 , E_1 , E_2 , E_3 .

Tableau 61: Paramètres de calcul

Structures	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E_1 (bars)	E_2 (bars)	E_3 (bars)	K_1 $= \frac{E_1}{E_2}$	K_2 $= \frac{E_2}{E_3}$	A_1 $= \frac{a}{h_2}$	$H = \frac{h_1}{h_2}$
Structures 1	10	34	25 000	15 000	500	1,667	30	0,700	0,294
Structures 2	10	38	25 000	15 000	500	1,667	30	0,627	0,263
Structures 3	10	34	25 000	15 000	500	1,667	30	0,700	0,294

Après des interpolations entre ces divers paramètres à l'aide des abaques de JONES, on obtient les valeurs des contraintes suivantes :

Résultats intermédiaires :

$$P = \frac{1}{q} \sigma_{z1}; \quad Q = \frac{1}{q} (\sigma_{z1} - \sigma_{r1}); \quad R = \frac{1}{q} (\sigma_{z1} - \sigma_{r2}); \quad S = \frac{1}{q} \sigma_{z2}; \quad T = \frac{1}{q} (\sigma_{z2} - \sigma'_{r2});$$

$$V = \frac{1}{q} (\sigma_{z2} - \sigma_{r3}).$$

Tableau 62: Résultats intermédiaires de la contrainte de renforcement

Structures	P	Q	R	S	T	V
Structures 1	0,6032409	0,2401951	0,1201000	0,0497102	0,7339751	0,0339980
Structures 2	0,5832960	0,3203790	0,1601913	0,0418817	0,6230286	0,0288717
Structures 3	0,6032409	0,2401951	0,1201000	0,0497102	0,7339751	0,0339980

Tableau 63: Contraintes en MPa de la chaussée

Structures	σ_{z1}	σ_{r1}	σ_{r2}	σ_{z2}	σ'_{r2}	σ_{r3}
Structures 1	0,887	0,534	0,710	0,073	-1,006	0,023
Structures 2	0,857	0,386	0,622	0,062	-0,854	0,019
Structures 3	0,887	0,534	0,710	0,073	-1,006	0,023

D'après ces valeurs on constate que :

- $\sigma_{z1} < 1 \text{ MPa}$;
- $\sigma_{r1} < 2,5 \text{ MPa}$;
- $\sigma_{z2} < 0,12 \text{ MPa}$.

Ainsi, toutes les contraintes sont inférieures à celles admissibles et on peut conclure que la piste, l'aire de stationnement et la voie de circulation supporte bien la charge de l'Airbus A380 après renforcement.

V- DETERMINATION DU PCN PUBLIE

On va déterminer le PCN publié de la piste d'envol, de la voie de circulation et de l'aire de stationnement, à l'aide de la méthode approchée.

1. PCN publié de la piste d'envol

Pour $e_{\text{éq}} = 74 \text{ cm}$; $\text{CBR} = 10$;

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e_{\text{éq}}^2 \text{ exi}}{\frac{1}{0,57 \cdot \text{CBR}} - 0,025}$$

$$PCN = 72,80.$$

Choix des avions : les avions les plus contraignantes appelés à fréquenter l'aérodrome, et dont les valeurs extrêmes de leurs ACN encadrent le PCN déterminé, sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 64: Valeurs de l'ACN en fonction des types d'avions et des masses

Type d'avions	Masse maxi Masse mini (T)	ACN publiée B (moyen) CBR = 10
A380*	551,4	68
	275,8	28
B-747-200	373,30	58
	168,87	21
A340-300	271,90	66
	150,00	34
DC8	162,39	59
	72,00	19
B-767-300	159,6	45
	85,7	21

*Seuls les ACN dus à l'atterrisseur sous l'aile sont retenus car ils sont plus élevés que ceux dus à atterrisseur carlingue.

On peut constater que tout les ACN sont inférieurs à la PCN calculé.
D'où le PCN publiable est :

73/F/B/X/T

2. PCN publié de l'aire de stationnement

Pour $e_{\text{eq}} = 79,5$ cm ; CBR = 10 ; **PCN = 70,02**.

On peut constater que tout les ACN sont inférieurs à la PCN calculée.
D'où le PCN publiable est :

70/F/B/X/T

3. PCN publié de la voie de circulation

Pour $e_{\text{eq}} = 73$ cm ; CBR = 10 ; PCN = **70,84**.

On peut constater que tout les ACN sont inférieurs à la PCN calculée.
D'où le PCN publiable est :

71/F/B/X/T

D'où d'après le rapport $PCN/ACN_{\text{max}} \approx 1$, on peut en conclure que l'A380-800 a un mouvement par jour.

4. PCN publié de la chaussée rigide renforcée

Pour $e_{\text{eq}} = 110$ cm ; CBR = 10 ; $K = 80$ MN/m³ ; PCN = **160,81**.

Comme on prend l'ACN_{max} de l'atterrisseur carlingue 88, on peut tirer que l'A380-800 est largement supporté par la chaussée rigide renforcée.

Et on a pu déterminer que : **$PCN > 1,5 \times ACN_{\text{max}}$** , donc il n'est pas nécessaire de faire une vérification de contrainte pour la chaussée rigide.

D'où le PCN publiable est :

161/R/B/X/T

Récapitulation des PCN de renforcement :

Tableau 65: PCN publiable des chaussées renforcées

<i>Désignations</i>	<i>PCN publiable</i>
<i>Piste en chaussée souple</i>	73/F/B/X/T
<i>Piste en chaussée rigide</i>	161/R/B/X/T
<i>Voie de circulation</i>	71/F/B/X/T
<i>Aire de stationnement</i>	70/F/B/X/T

CONCLUSION PARTIELLE

Pour que l'aérodrome d'Andrakaka puisse accueillir un Airbus A380-800, il est nécessaire de faire de renforcer la piste, l'aire de stationnement et la voie de circulation.

Etant donnée l'épaisseur équivalente existante, le calcul de l'épaisseur de renforcement doit passer par la détermination de l'épaisseur équivalente nécessaire. Cette dernière fait intervenir les caractéristiques de l'airbus A380. Cependant, avant de procéder au calcul de l'épaisseur, il faut faire une vérification préalable si la chaussée nécessite effectivement un renforcement ou non. Cela se fait en comparant l'ACN de l'avion et le PCN de la chaussée.

Après avoir analysé la répartition des charges au niveau des atterrisseurs principal carlingue et sous l'aile, la charge la plus contraignante provient de l'atterrisseur principale carlingue. C'est à partir de cela que l'épaisseur réelle de renforcement a été calculée.

Parmi les différentes aires de mouvements de l'aérodrome :

- ✓ La piste d'envol nécessite un renforcement de 5 cm d'épaisseur en béton bitumineux, 16 cm de grave bitume et 5 cm de GCNT 0/31⁵ pour la largeur existante et 34 cm pour la nouvelle largeur.
- ✓ L'aire de stationnement doit être renforcée de 5 cm d'épaisseur en béton bitumineux, 16 cm de grave bitume et 36 cm de GCNT 0/31⁵ pour la fondation de l'aire de stationnement à prolonger.
- ✓ La voie de circulation nécessite un renforcement de 5 cm de béton bitumineux et 15 cm de grave bitume.

Ainsi, à l'issue de renforcement, on obtient des nouvelles structures des chaussées de la piste d'envol de l'aire de stationnement et de la voie de circulation.

La vérification des contraintes dans les différentes couches des nouvelles structures de la chaussée a été faite en utilisant la méthode de JONES et PEATIES. Après vérification, ces épaisseurs de renforcement sont retenues car toutes les contraintes dans les différentes couches sont inférieures celles admissibles.

Connaissant la portance du sol support, les caractéristiques de l'avion ainsi l'épaisseur équivalente de la chaussée, on a pu calculer les PCN publiés de la piste d'envol, de la voie de circulation et de l'aire de stationnement.

Le prolongement de la piste sera connu au prochain chapitre

Chapitre V : PROLONGEMENT DE LA PISTE

L'évolution de l'aérodrome va de pair avec celle du trafic. Cette dernière se présente sous plusieurs formes telles que l'augmentation du nombre de mouvements, l'introduction d'un aéronef de grande capacité pouvant transporter d'énorme quantité de charges marchandes en une seule fois.

Pour s'adapter à l'évolution du trafic, l'aérodrome devrait être aménagé. L'aménagement touche en premier lieu l'aire de mouvement et se fait par renforcement de l'aire existante ou par son extension. C'est pourquoi, l'introduction d'un nouveau appareil de grande capacité entraîne souvent le prolongement de la piste d'envol afin d'avoir une longueur suffisante au décollage.

On a pu constater ultérieurement qu'on va prolonger la piste de 610 m au seuil 13 vers le Nord-Ouest et 500 m au seuil 31 vers le Sud-est.

I- ELEMENTS NECESSAIRE POUR LE DIMENSIONNEMENT DE LA NOUVELLE CHAUSSEE

1. Structure possible de la nouvelle chaussée

Les structures les plus souvent employés lors de la construction neuve sont :

- La structure souple ;
- La structure rigide.

Ces deux structures ont leurs propres avantages et inconvénients et on va les considérer comme des variantes du projet.

Pour pouvoir faire le dimensionnement de ces deux structures de chaussées, on doit disposer du trafic des avions en l'occurrence leurs mouvements.

2. Mouvement des avions

Le dimensionnement des chaussées d'aérodrome fait toujours référence au nombre de mouvements journaliers de chaque avion. Comme l'aérodrome d'ANTSIRANANA n'a eu que des trafics nationaux. Pour pouvoir faire le calcul, on doit se référer aux nombres de mouvements des avions fréquentant l'aérodrome d'Ivato qui est le principal aérodrome international de Madagascar.

Les nombres de mouvement des avions d'Ivato sont donnés par le tableau suivant.

Tableau 66: Mouvement des divers avions d'Ivato en 2010

Types d'avion	Nombre de mouvements	Nombre de mouvements journaliers
Boeing 747-200	3	1
Boeing 767-300	8	2
Boeing 737-300	33	5
Boeing 727-200	1	1
Airbus A340-300	6	1
Airbus A319-100	5	1
ATR 42	17	3
ATR 72	20	3
DC8	1	1
DHT	22	4

3. Caractéristiques des avions

Parmi les avions cités précédemment, seuls sont choisis, pour le dimensionnement optimisé, les gros porteurs qui produiraient un effet significatif sur la fatigue de la chaussée :

- ✓ Airbus A380;
- ✓ Boeing 747-200 ;
- ✓ Airbus A340 ;
- ✓ Boeing 767-300 ;
- ✓ DC 8.

Le tableau suivant donne les caractéristiques techniques de ces avions.

Tableau 67: Caractéristiques techniques des avions

Avions	Masse total (Kg)	Charge sur atterrisseur principal (%)	Pression des pneus (MPa)	Numéro de classification d'aéronef (ACN)							
				Terrain de fondation des chaussées souples- CBR				Terrain de fondation des chaussées rigides $K(MN/m^3)$			
				Elevé	Moyen	Faible	Très faible	Elevé	Moyen	Faible	Très faible
A380	551 400	*28,5	1,47	56	62	75	106	55	67	88	110
	275 800			23	25	28	36	26	27	31	38
	551 400	*19,0	1,47	62	68	80	108	55	64	76	88
	275 800			27	28	31	39	25	26	36	35
B747-200	373 306	23,6	1,45	52	58	71	93	51	61	72	82
	168 872			20	21	23	30	20	22	26	30
A340-300	271 900	40,06	1,37	61	66	77	105	54	62	74	86
	150 000			33	34	38	49	30	31	35	40
DC8	162 386	47,6	1,34	52	59	71	87	50	59	69	77
	72 002			18	19	22	29	20	23	27	31
B767-300	159 600	46,3	1,21	42	45	58	76	40	48	57	65
	85 700			20	21	23	30	19	22	25	29

*28,5% : pourcentage des charges sur l'atterrisseur principale carlingue ;

*19% : pourcentage des charges sur l'atterrisseur principale sous l'aile.

4. Caractéristiques des chaussées et du sol support

Selon les terrains de fondation, les chaussées à prolonger comportent deux parties distinctes :

- La première est bâtie vers le Nord-Ouest à partir du **seuil 13** et elle a une longueur de **610 m** et une largeur de **60 m** ;
- La deuxième est construite vers le Sud-Est à partir du **seuil 31** et elle a une distance de **500 m** et une largeur de **60 m**.

A chaque bout de la piste est mise en place une aire de sécurité de **70 m** de long et une bande de **60 m**.

Concernant la portance du sol support, les résultats du sondage ont donné :

- Pour la première chaussée, on a un **CBR = 6**, qui a été déterminé comme étant de **classe C**, d'où une module de réaction **$K = 40 \text{ MN/m}^3$** ;
- Pour la deuxième chaussée, on a un **CBR = 10**, qui a été déterminé comme étant de **classe B**, d'où une module de réaction **$K = 80 \text{ MN/m}^3$** .

Pour le dimensionnement des chaussées rigides, on prend une valeur de **5,6 MPa** comme résistance de traction par flexion à la rupture du béton mesurée à 90 jours.

II- DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE SOUPLE

Comme on dispose déjà des nombres de mouvements journaliers des avions gros porteurs susceptibles d'avoir un effet significatif sur la chaussée, il est possible d'effectuer un dimensionnement optimisé.

Connaissant la charge sur l'atterrisseur principal et le CBR_{4j} du sol support, on peut déduire l'épaisseur équivalente nécessaire de la chaussée à l'aide d'un abaque.

Etant donné une épaisseur équivalente de la chaussée et le CBR_{4j} de son sol support, ces deux paramètres permettent de déduire la charge admissible sur l'atterrisseur principal et de calculer le nombre de mouvements équivalents par jour de l'ensemble des avions contraignants.

En ce qui concerne la charge de calcul, il faut tenir compte de la fonction des aires en appliquant les coefficients de pondération k à la charge réelle.

Compte tenu de cette pondération des charges, le dimensionnement des structures souples est divisé en deux :

- *Le dimensionnement de la piste sur les trente mètres centraux* : effectivement, c'est au niveau des trente mètres centraux que les roues des atterrisseurs circulent souvent. De ce fait, on applique seulement à ces trente mètres centraux le coefficient de pondération de charge $k=1$.
- *Le dimensionnement des accotements et des parties périphériques de la piste* : les parties périphériques de la piste et (hors trente mètres centraux) et les accotements sont dimensionnés en considérant un coefficient de pondération de charge $k=0,7$.

Ce qui permet de réduire l'épaisseur des parties périphériques de la piste et d'avoir une économie des matériaux.

1. Dimensionnement des trente mètres centraux de la piste

Epaisseur équivalente nécessaire pour la piste

Tableau 68: Calcul des épaisseurs équivalentes nécessaires pour la piste

<i>Avions</i>	<i>Charge pondérée P' (T)</i>	<i>Nombre de mouvements journaliers n</i>	<i>Coefficient de correction CT</i>	<i>Charge de calcul P'' (T)</i>	<i>Epaisseur équivalente nécessaire (cm) pour CBR = 6</i>	<i>Epaisseur équivalente nécessaire (cm) pour CBR = 10</i>
<i>B767-300</i>	73,89	2	1,14	64,82	82,5	52,5
<i>DC8</i>	77,30	1	1,20	64,42	92	62
<i>A340-300</i>	108,92	1	1,20	90,77	95	60
<i>B747-200</i>	88,10	1	1,20	73,42	93	58
<i>A380</i>	*104,77	1	1,20	87,31	94	62
	*157,15	1	1,20	130,96	103	64

*Charge pondérée sur atterrisseur sous l'aile et carlingue.

D'après ce tableau, l'épaisseur équivalente nécessaire maximale est de 103 cm correspondant à l'atterrisseur carlingue de l'Airbus A380 pour un CBR égal à 6. Pour un CBR égal à 10, elle n'atteint que 63 cm qui est aussi fournie par l'Airbus A380.

Nombres de mouvement équivalente pour $CBR_{4j} = 6$ et $e_{\text{éq nec}} = 105$ cm

Tableau 69: Calcul du nombre de mouvement équivalent

Avions	Charge P (T)	Charge pondérée P' (T)	Charge admissible Po (T)	$\frac{P}{Po}$	Coefficient de pondération CP	Nombre de mouvements réels	Nombre de mouvements équivalents
B767-300	73,89	73,89	87,5	0,844	0,166	2	0,372
DC8	77,30	77,30	76,2	1,014	1,175	1	1,175
A340-300	108,92	108,92	108,1	1,008	1,096	1	1,096
B747-200	88,10	88,10	86,7	1,016	1,202	1	1,202
A380-800	*157,15	*157,15	135,8	1,157	6,095	1	6,095
*Atterrisseur carlingue						Total	9,940

L'épaisseur équivalente 105 cm est adéquate au trafic car la somme de nombres de mouvements équivalents est inférieure et proche de 10.

Structure souple de la piste de prolongement sur terrain naturel pour $CBR=6$

On se base sur la formule :

$$e_{\text{éq}} = \sum a_i h_i$$

a_i : coefficient d'équivalence de la couche i ;

h_i : hauteur réelle de la couche i.

On va prendre l'épaisseur du Béton Bitumineux à 5 cm, et la Grave Bitume à 16 cm.

D'où l'épaisseur de la GCNT 0/31⁵ est :

$$e'_{\text{réelle}} = \frac{e_{\text{éq nec}} - a_1 h_1 - a_2 h_2}{a}$$

$$e'_{\text{réelle}} = \frac{105 - (2 \times 5) - (1,5 \times 16)}{1}$$

$$e'_{\text{réelle}} = 71 \text{ cm}$$

Mémoire de fin d'études : Analyse technique et proposition de solutions

Comme on veut varier les matériaux de la couche de fondation de la piste avec de la GCNT 0/31⁵, de la Tout Venant de Concassage 0/40 et du sable, la structure de la piste à partir du seuil 13 devient comme suit :

5 BB + 16 GB + 35 GCNT + 30 TVC + 12 Sables

Pour la protection de la structure il est nécessaire de mettre 20 cm de sable entre la couche de fondation et le sol support.

Nombres de mouvement équivalente pour $CBR_{4j} = 10$ et $e_{\text{ég nec}} = 65$ cm

Avions	Charge P (T)	Charge pondérée P' (T)	Charge admissible P_o (T)	$\frac{P}{P_o}$	Coefficient de pondération CP	Nombre de mouvements réels	Nombre de mouvements équivalents
B767- 300	73,89	73,89	93,00	0,795	0,094	2	0,188
DC8	77,30	77,30	73,50	1,052	1,813	1	1,813
A340- 300	108,92	108,92	102,50	1,063	2,057	1	2,057
B747- 200	88,10	88,10	90,10	0,978	0,774	1	0,774
A380- 800	*157,15	*157,15	138,75	1,133	4,603	1	4,603
*Atterrisseur carlingue						Total	9,436

L'épaisseur équivalente 65 cm est adéquate au trafic car la somme de nombres de mouvements équivalents est inférieure et proche de 10.

Structure souple de la piste de prolongement sur terrain naturel pour $CBR=10$

Comme cette partie à la même CBR_{4j} et la même épaisseur équivalente que celui dont on a fait le renforcement, alors on va prendre les mêmes épaisseurs de béton bitumineux et grave bitume.

D'où l'épaisseur de la GCNT 0/31⁵ est :

$$e''_{réelle} = \frac{e_{\text{éq néc}} - a_1 e_1 - a_2 e_2}{a}$$
$$e''_{réelle} = \frac{65 - (2 \times 5) - (1,5 \times 16)}{1}$$
$$e''_{réelle} = 31 \text{ cm}$$

D'où la structure de la piste à partir du seuil 31 est donnée par :

$$\mathbf{5 \text{ BB} + 16 \text{ GB} + 31 \text{ GCNT} + 20 \text{ Sable}}$$

Pour la protection de la structure il est nécessaire de mettre 20 cm de sable entre la couche de fondation et le sol support.

2. Dimensionnement des accotements et des périphériques de la piste

Épaisseur équivalente nécessaire pour les accotements

Le calcul de des épaisseurs équivalentes nécessaires se fait de la même manière que celui de la piste.

C'est au niveau de la charge pondérée que la différence apparaît car le coefficient de pondération est 0,7 pour l'accotement et les parties périphériques de la piste au lieu de 1 pour ses tentes mètres centraux.

Leur charge pondérée s'obtient en multipliant la charge réelle par 0,70 :

$$P' = 0,7 \times P$$

Tableau 70: Calcul des épaisseurs équivalentes nécessaires pour les accotements

Avions	Charge pondérée P' (T)	Nombre de mouvements journaliers n	Coefficient de correction CT	Charge de calcul P'' (T)	Épaisseur équivalente nécessaire (cm) pour CBR = 6	Épaisseur équivalente nécessaire (cm) pour CBR = 10
B767-300	51,72	2	1,14	45,38	57,02	42,62
DC8	54,11	1	1,20	45,09	62,90	46,20
A340-300	76,24	1	1,20	63,54	69,23	52,12
B747-200	61,67	1	1,20	51,39	70,41	52,60
A380	73,34	1	1,20	61,11	75,64	57,02
	110,00	1	1,20	91,67	80,40	60,60

Ce tableau montre que les épaisseurs équivalentes nécessaires maximales sont toujours données par l'Airbus A380 tant pour le CBR_{4j} égal à 6 que le CBR_{4j} égal à 10. Pour CBR_{4j} égal à 6, l'épaisseur maximale de 80,4 cm est due à l'atterrisseur carlingue. Les deux atterrisseurs de l'Airbus A380 fournissent la même épaisseur maximale de 60,6 cm pour un CBR_{4j} égal à 10.

Structure souple de l'accotement sur terrain naturel pour CBR=6

Comme l'épaisseur équivalente total est de 85 cm, alors on se base sur la formule :

$$e_{\text{éq}} = \sum a_i h_i$$

Pour le Béton Bitumineux et la Grave Bitume, on peut se référer sur l'épaisseur moyenne pour les accotements :

Béton Bitumineux : 5 cm ;

Grave Bitume : 10 cm.

D'où l'épaisseur de la GCNT est :

$$e'_{\text{réelle}} = \frac{e_{\text{éq}} \text{ néc} - a_1 e_1 - a_2 e_2}{a}$$
$$e'_{\text{réelle}} = \frac{85 - (2 \times 5) - (1,5 \times 10)}{1}$$
$$e'_{\text{réelle}} = 60 \text{ cm}$$

Comme on veut varier les matériaux de la couche de fondation de l'accotement avec du GCNT 0/31⁵, de la Tout Venant de Concassage 0/40 et du sable, la structure de la piste à partir du seuil 13 devient comme suit :

5 BB + 10 GB + 30 GCNT + 25 TVC + 10 Sables

Pour la protection de la structure il est nécessaire de mettre 20 cm de sable entre la couche de fondation et le sol support.

Structure souple de l'accotement sur terrain naturel pour CBR=10

Comme l'épaisseur équivalente total est de 61 cm, alors on se base sur la formule :

$$e_{\text{éq}} = \sum a_i h_i$$

Pour le Béton Bitumineux et la Grave Bitume, on peut se référer sur l'épaisseur moyenne pour les accotements :

Béton Bitumineux : 5 cm ;

Grave Bitume : 10 cm.

D'où l'épaisseur de la GCNT est :

$$e'_{\text{réelle}} = \frac{e_{\text{éq}} \text{ néc} - a_1 e_1 - a_2 e_2}{a}$$
$$e'_{\text{réelle}} = \frac{65 - (2 \times 5) - (1,5 \times 10)}{1}$$
$$e'_{\text{réelle}} = 40 \text{ cm}$$

D'où la structure de l'accotement à partir du seuil 31 est donnée par :

5 BB + 10 GB + 40 GCNT + 20 Sable

Pour la protection de la structure il est nécessaire de mettre 20 cm de sable entre la couche de fondation et le sol support.

III- DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE RIGIDE

La méthode forfaitaire suffit pour dimensionner une chaussée rigide. Pour cela, le calcul est fait en considérant que l'Airbus A380 est nettement plus contraignant que les autres avions.

Par ailleurs, c'est l'atterrisseur principal carlingue qui est plus critique que celle sous l'aile.

En effet, d'une part, un atterrisseur carlingue supporte 157,15 T de charge au lieu de 104,77 T seulement pour l'atterrisseur sous l'aile.

D'autre part, en chaussée rigide, les valeurs d'ACN dues à l'atterrisseur carlingue sont généralement plus élevées que celles dues à l'atterrisseur sous l'aile.

Le dimensionnement consiste à déterminer l'épaisseur de la dalle de béton en utilisant un abaque. Cela fait intervenir plusieurs paramètres.

Pour le dimensionnement de la piste, le calcul devrait normalement être mené en considérant séparément les trente mètres centraux et les abords de la piste.

Mais, du point de vue mise en œuvre, la réduction de l'épaisseur sur le profil en travers est difficilement concevable du fait des pentes imposées (normes géométriques et règles de construction). D'où, la piste est seulement dimensionnée pour un coefficient de pondération $k=1$.

1. Paramètres de calcul

Épaisseur de la couche de fondation

En choisissant comme matériaux de la couche de fondation le grave ciment, l'épaisseur réelle varie de 15 à 30 cm. Ainsi, on peut prendre une épaisseur de **25 cm** du grave ciment. D'où, son épaisseur équivalente est :

$$e_{\text{éq}} = 1,5 \times 25$$
$$e_{\text{éq}} = \mathbf{37,5 \text{ cm.}}$$

Contrainte admissible de traction par flexion du béton

$$\overline{\sigma}_{bt} = \frac{f_{t90}}{c_s}$$

En choisissant $f_{t90} = \mathbf{5,5 \text{ MPa}}$, et un coefficient de sécurité **1,8** (dispositif de transfert de charge : goujon), on a :

$$\overline{\sigma}_{bt} = \frac{5,5}{1,8}$$
$$\overline{\sigma}_{bt} = \mathbf{3,11 \text{ MPa}}$$

Module de réaction du sol

- Pour le premier (qui débute au seuil 13) :

On a un module de réaction $K_0 = 40 \text{ MN/m}^3$ et une épaisseur équivalente de 37,5 cm de la couche de fondation.

D'où on a un module de réaction corrigé de **74 MN/m³**.

- Pour le deuxième (qui débute au seuil 31) :

On a un module de réaction $K_0 = 80 \text{ MN/m}^3$ et une épaisseur équivalente de 37,5 cm de la couche de fondation.

D'où on a un module de réaction corrigé de **117 MN/m³**.

Charge normale de calcul

$$P'' = \frac{157,15}{1,2}$$
$$P'' = 130,96 \text{ T}$$

2. Calcul de l'épaisseur de la dalle de béton

Le calcul de l'épaisseur de la dalle de béton se fait à l'aide d'un abaque de l'avion critique choisi. Cependant, aucun abaque de dimensionnement de chaussée que ce soit chaussée souple ou rigide de l'Airbus A380 n'est pas encore publié jusqu'à maintenant. Néanmoins, d'après le STBA, on peut utiliser l'abaque d'un autre avion dont les caractéristiques géométriques de l'atterrisseur principal sont proches de celles de l'avion considéré.

Par conséquent, on va utiliser l'abaque de calcul de chaussée rigide du Boeing 777-300ER. Cet avion dispose deux atterrisseurs principales à six roues.

Du point de vue charge, cet avion possède quelques caractéristiques suivantes :

- Masse maximale au roulage : 352 500 kg ;
- Masse à vide opérationnelle : 168 000 kg ;
- Centrage arrière maximale : 46,23% ;
- Masse maximale sur l'atterrisseur principale : $352\,500 \times 0,4623 \text{ kg} = 162,96\text{T}$.

En ce qui concerne les caractéristiques de l'atterrisseur principale, le tableau suivant donne celles du Boeing 777-300 ER et de l'Airbus A380 à titre de comparaison.

Tableau 71: Comparaison des atterrisseurs principales entre un B777-300ER et un A380-800

<i>Avions</i>	<i>Voie (m)</i>	<i>Empattement (m)</i>	<i>Nombres de roues sur atterrisseur</i>	<i>Charge sur atterrisseur principal (T)</i>	<i>Charge sur une roue (T)</i>	<i>Rayon de surface de contact (cm)</i>
<i>B777-300ER</i>	1,40	1,45	6	162,96	27,16	23,62
<i>A380-800</i>	1,45	1,80	6	157,19	26,19	23,81

Ce tableau montre que les atterrisseurs de B777-300ER et d'A380 ont des caractéristiques très proches. Ainsi, l'abaque du Boeing B777-300ER est bel bien utilisable au calcul de l'épaisseur de la dalle de béton nécessaire pour l'Airbus A380.

Mémoire de fin d'études : Analyse technique et proposition de solutions

Cependant, une petite correction est faite sur l'épaisseur de la dalle du fait de la petite différence de la charge sur un atterrisseur. En effet, on majore l'épaisseur trouvée sur l'abaque par le rapport : $\frac{162,96}{157,15} = 1,037$.

Ainsi d'après l'abaque du B777-300ER :

- Pour $\overline{\sigma_{bt}} = 3,11\text{MPa}$, $K_C = 74\text{ MN/m}^3$, $P'' = 130,96\text{ T}$, on a $e_d = 32,8\text{ cm}$;
- Pour $\overline{\sigma_{bt}} = 3,11\text{MPa}$, $K_C = 117\text{ MN/m}^3$, $P'' = 130,96\text{ T}$, on a $e_d = 31,5\text{ cm}$;

Après majoration on trouve :

- Pour $\overline{\sigma_{bt}} = 3,11\text{MPa}$, $K_C = 74\text{ MN/m}^3$, $P'' = 130,96\text{ T}$, on a $e_d = 34,01\text{ cm}$;
- Pour $\overline{\sigma_{bt}} = 3,11\text{MPa}$, $K_C = 117\text{ MN/m}^3$, $P'' = 130,96\text{ T}$, on a $e_d = 32,7\text{ cm}$;

On peut ainsi établir la structure de la chaussée rigide de prolongement constitué de Béton Ciment et de Grave Ciment :

34 BC + 25 GC + 20 Sable pour la première ;

33 BC + 25 GC + 20 Sable pour la deuxième.

Pour la protection de la structure il est nécessaire de mettre 20 cm de sable entre la couche de fondation et le sol support.

IV- VERIFICATION DES CONTRAINTES

La vérification des contraintes concerne les structures souples des pistes et accotements et se fait en utilisant la méthode de JONES et PEATES.

1. Transformation de la structure multicouche en structure tri couche

Les modules d'élasticité des matériaux qui constituent les structures sont les suivantes :

- ✓ $E = 25\ 000$ bars pour le Béton Bitumineux (BB) ;
- ✓ $E = 15\ 000$ bars pour la Grave Bitume (GB) ;
- ✓ $E = 4000$ bars pour la Grave Concassée Non Traitée (GCNT) et le Tout Venant de Concassage (TVC) ;
- ✓ $E = 2300$ bars pour le Sable ;
- ✓ $E = 500$ bars pour $\text{CBR}_{4j} = 10$;
- ✓ $E = 300$ bars pour $\text{CBR}_{4j} = 6$.

Cette conversion s'effectue en calculant successivement les épaisseurs équivalentes h' des couches intermédiaires, c'est-à-dire les couches comprises entre la couche de revêtement et le sol support.

$$h' = h_a + 0,9h_b \sqrt[3]{\frac{E_b}{E_a}}$$

Tableau 72: Structure multicouche de la nouvelle chaussée

<i>Désignations</i>	<i>Matériaux</i>	<i>Epaisseur (cm)</i>	<i>Module d'élasticité (bars)</i>
<i>Structure 1 (piste à partir du seuil 13)</i>	Béton Bitumineux	5	25 000
	Grave Bitume	16	15 000
	Graves Concassés Non Traitées 0/31 ⁵	35	4 000
	Tout Venant de Concassage 0/40	30	4 000
	Sables 0/5	20	2 300
	Sol support CBR _{4j} = 6	∞	300
<i>Structure 2 (piste à partir du seuil 31)</i>	Béton Bitumineux	5	25 000
	Grave Bitume	16	15 000
	Graves Concassés Non Traitées 0/31 ⁵	31	4 000
	Sables 0/5	20	2 300
	Sol support CBR _{4j} = 10	∞	500
<i>Structure 3 (accotement à partir du seuil 13)</i>	Béton Bitumineux	5	25 000
	Grave Bitume	10	15 000
	Graves Concassés Non Traitées 0/31 ⁵	30	4 000
	Tout Venant de Concassage 0/40	25	4 000
	Sables 0/5	20	2 300
	Sol support CBR _{4j} = 6	∞	300
<i>Structure 4 (accotement à partir du seuil 31)</i>	Béton Bitumineux	5	25 000
	Grave Bitume	10	15 000
	Graves Concassés Non Traitées 0/31 ⁵	40	4 000
	Sables 0/5	20	2 300
	Sol support CBR _{4j} = 10	∞	500

Tableau 73: Structure multicouche équivalente de la nouvelle chaussée

Désignations	Couches	Epaisseur (cm)	Module d'élasticité (bars)
<i>Structure 1</i> (piste à partir du seuil 13)	Couche 1	5	25 000
	Couche 2	62	15 000
	Couche 3	∞	300
<i>Structure 2</i> (piste à partir du seuil 31)	Couche 1	5	25 000
	Couche 2	43	15 000
	Couche 3	∞	500
<i>Structure 3</i> (accotement à partir du seuil 13)	Couche 1	5	25 000
	Couche 2	51	15 000
	Couche 3	∞	300
<i>Structure 4</i> (accotement à partir du seuil 31)	Couche 1	5	25 000
	Couche 2	42	15 000
	Couche 3	∞	500

2. Calcul des contraintes

a- Paramètres de calcul

Le calcul de ces contraintes s'effectue en utilisant l'abaque de JONES qui fait intervenir de nombreux paramètres : K_1 , K_2 , A_1 , H .

Les données de calcul pour toutes les pistes sont : $q = 1,47$ MPa, $a = 23,81$ cm.

Les données de calcul pour chaque piste sont : h_1 , h_2 , E_1 , E_2 , E_3 .

Tableau 74: Paramètre de calcul des contraintes de la nouvelle chaussée

Structures	h_1 (cm)	h_2 (cm)	E_1 (bars)	E_2 (bars)	E_3 (bars)	K_1 $= \frac{E_1}{E_2}$	K_2 $= \frac{E_2}{E_3}$	A_1 $= \frac{a}{h_2}$	H $= \frac{h_1}{h_2}$
<i>Structures 1</i>	5	80	25 000	15 000	300	1,667	50	0,30	0,063
<i>Structures 2</i>	5	43	25 000	15 000	500	1,667	30	0,55	0,116
<i>Structures 3</i>	5	51	25 000	15 000	300	1,667	50	0,47	0,098
<i>Structures 4</i>	5	42	25 000	15 000	500	1,667	30	0,57	0,119

b- Résultats de calcul des contraintes

Après des interpolations entre les divers paramètres précédents à l'aide de des abaques de JONES, on obtient les valeurs des contraintes suivantes :

Résultats intermédiaires :

$$P = \frac{1}{q} \sigma_{z1}; \quad Q = \frac{1}{q} (\sigma_{z1} - \sigma_{r1}); \quad R = \frac{1}{q} (\sigma_{z1} - \sigma_{r2}); \quad S = \frac{1}{q} \sigma_{z2}; \quad T = \frac{1}{q} (\sigma_{z2} - \sigma'_{r2});$$
$$V = \frac{1}{q} (\sigma_{z2} - \sigma_{r3})$$

Tableau 75: Résultat intermédiaire de la contrainte de la nouvelle chaussée

Structures	P	Q	R	S	T	V
Structures 1	0,598	0,453	0,227	0,013	0,230	0,009
Structures 2	0,664	0,008	0,004	0,042	0,609	0,028
Structures 3	0,664	0,139	0,069	0,028	0,493	0,020
Structures 4	0,664	-0,032	-0,016	0,044	0,644	0,030

Tableau 76: Contrainte en MPa de la nouvelle chaussée

Structures	σ_{z1}	σ_{r1}	σ_{r2}	σ_{z2}	σ'_{r2}	σ_{r3}
Structures 1	0,879	0,213	0,546	0,019	-0,319	0,005
Structures 2	0,976	0,964	0,970	0,061	-0,834	0,020
Structures 3	0,975	0,771	0,873	0,042	-0,683	0,013
Structures 4	0,976	1,023	0,999	0,065	-0,882	0,021

D'après ces valeurs on constate que :

- $\sigma_{z1} < 1$ MPa ;
- $\sigma_{r1} < 2,5$ MPa ;
- $\sigma_{z2} < 0,12$ MPa.

V- DETERMINATION DU PCN PUBLIE

1. Calcul de PCN de la chaussée souple

Piste sur le terrain naturel à partir du seuil 13

Le PCN peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e^2}{\frac{1}{0,57 \cdot CBR} - 0,025}$$

Avec e = 109 cm ; CBR = 6 ; on a :

$$PCN = 89/F/C/X/T$$

Comme l'ACN de l'A380-800 de l'atterrisseur sous l'aile pour CBR = 6 est **80**.

$$PCN > ACN$$

Piste sur le terrain naturel à partir du seuil 31

Le PCN peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e^2}{\frac{1}{0,57 \cdot CBR} - 0,025}$$

Avec e = 75 cm ; CBR = 10 ; on a :

$$PCN = 75/F/B/X/T$$

Comme l'ACN de l'A380-800 de l'atterrisseur sous l'aile pour CBR = 10 est **68**.

$$PCN > ACN$$

Accotement sur le terrain naturel à partir du seuil 13

Le PCN peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e^2}{\frac{1}{0,57 \cdot CBR} - 0,025}$$

Avec e = 95 cm ; CBR = 6 ; k = 0,7 on a :

$$PCN = 96/F/C/X/T$$

Accotement sur le terrain naturel à partir du seuil 13

Le PCN peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$PCN = \frac{1}{500k} \times \frac{e^2}{\frac{1}{0,57 \cdot CBR} - 0,025}$$

Avec $e = 75$ cm ; $CBR = 10$; $k = 0,7$ on a :

$$PCN = 107/F/B/X/T$$

2. Calcul de la PCN de la chaussée rigide

Piste sur le terrain naturel à partir du seuil 13 :

Le PCN peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$PCN = G(CBR) \times RSI$$

Dont la formule de la Roue Simple Equivalente est :

$$RSI = 6,12 \frac{e^2}{1000 \left[4,231 - 5,013 \cdot \log \frac{CBR}{0,6} + 2,426 \left(\log \frac{CBR}{0,6} \right)^2 - 0,473 \left(\log \frac{CBR}{0,6} \right)^3 \right]^2}$$

Avec $e = (2 \times 34) + (1,5 \times 25) + (0,5 \times 20)$

$$D'où $e = 115,5$ cm$$

$G(CBR) = 1,58$ qui est donné dans l'abaque de PCN avec $CBR = 40$ MN/m³ ou $CBR = 6$.

$$RSI = 59,54$$

Le PCN publié est alors :

$$PCN = 94/R/C/X/T$$

Comme l'ACN de l'A380-800 de l'atterrisseur carlingue pour $CBR = 40$ MN/m³ est **88**.

$$PCN > ACN$$

Piste sur le terrain naturel à partir du seuil 31

Le PCN peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$PCN = G(CBR) \times RSI$$

Dont la formule de la Roue Simple Equivalente est :

$$RSI = 6,12 \frac{e^2}{1000 \left[4,231 - 5,013 \cdot \log \frac{CBR}{0,6} + 2,426 \left(\log \frac{CBR}{0,6} \right)^2 - 0,473 \left(\log \frac{CBR}{0,6} \right)^3 \right]^2}$$

Avec $e = (2 \times 20) + (1,5 \times 25) + (0,5 \times 20)$

$$D'où $e = 87,5 \text{ cm}$$$

$G(CBR) = 1,53$ qui est donné dans l'abaque de PCN avec $CBR = 80 \text{ MN/m}^3$ ou $CBR = 10$.

$$RSI = 62,64$$

Le PCN publié est alors :

$$PCN = 99/R/B/X/T$$

Comme l'ACN de l'A380-800 de l'atterrisseur carlingue pour $CBR = 80 \text{ MN/m}^3$ est **67**.

$$PCN > ACN$$

3. Récapitulation des calculs de PCN

Tableau 77: Récapitulation de calcul de PCN de la nouvelle chaussée

Chaussées		Prolongement à partir du seuil 13	Prolongement à partir du seuil 31
		PCN	PCN
Piste	Chaussée souple	89/F/C/X/T	75/F/B/X/T
	Chaussée rigide	94/R/C/X/T	99/R/B/X/T
Accotement		96/F/C/X/T	107/F/B/X/T

CONCLUSION PARTIELLE

Pour la conception de la nouvelle chaussée, on a considéré deux variantes dont la chaussée souple et la chaussée rigide.

Le calcul de la chaussée souple a été faite en utilisant le dimensionnement optimisé. Ce dernier tient compte de plusieurs avions contraignants avec ses caractéristiques techniques et ses nombres de mouvements.

En ce qui concerne la chaussée rigide, le dimensionnement forfaitaire est adéquat au calcul des épaisseurs équivalentes nécessaires.

Les PCN publiés de la chaussée souple ont été calculés en utilisant la méthode approchée tandis que la méthode forfaitaire convient mieux aux calculs de ceux de la chaussée rigide.

Donc il est essentiel de savoir l'assainissement au prochain chapitre

Chapitre VI : ASSAINISSEMENT

I- GENERALITES

On devra prendre en considération l'assainissement avant de réaliser le renforcement de la chaussée.

Quelque soit l'importance d'un aéroport, l'assainissement doit être un travail correctement exécuté. L'eau de pluie stagnante sur les accotements et les chaussées s'infiltrer sous ces derniers et par ramollissement des fondations et de la plate-forme, occasionne de graves désordres dans la couche de revêtement qui peuvent être un danger pour tout avion utilisant la piste.

II- ETATS DES LIEUX

D'après les sondages qui ont été faits, la nappe phréatique ainsi que sa remontée est à ne pas à craindre parce qu'en plus qu'elle se trouve à une profondeur de 2,85 mètre par rapport au niveau de la chaussée, elle est aussi gênée par la présence d'une grande couche presque à 50 cm de sable.

On a pu constater précédemment que la plate-forme de la chaussée est constituée de Limon Argilo-Sableux qui est très imperméable. Et le Service Hydrologique de la Météorologie de Madagascar a donné une quantité de pluie de 914,3 mm pendant 99 jours en 2010 dans la région d'Antsiranana.

Par conséquent on devrait envisager un réseau d'assainissement convenable à l'évacuation des eaux d'infiltration sous chaussée.

III- PROPOSITION DE SOLUTION D'AMENAGEMENT

L'aménagement de la bande de piste d'envol suivant la réglementation de l'OACI réduit l'effet des eaux de ruissellement sur la chaussée ainsi réhabilité.

Et pour bien capter les eaux infiltrées dans la chaussée, on devrait mettre des drains latéraux de profondeur choisie selon la qualité des sols et selon la profondeur de sols imperméables.

Les eaux captées dans les drains seront évacuées vers des puisards à l'extérieur de la bande.



Figure 35: Drain d'évacuation

IV- DIMENSIONNEMENT DES DRAINS

La conception des drains comprend le calcul de débit à évacuer et le calcul hydraulique des tuyaux de drainage.

1. Calcul de débit à évacuer

a- Hypothèses de calcul

- ✓ On suppose que l'arrivée des eaux est de deux côtés du drain ;
- ✓ Dans tous les calculs, on choisit comme type de drain le drain complet.

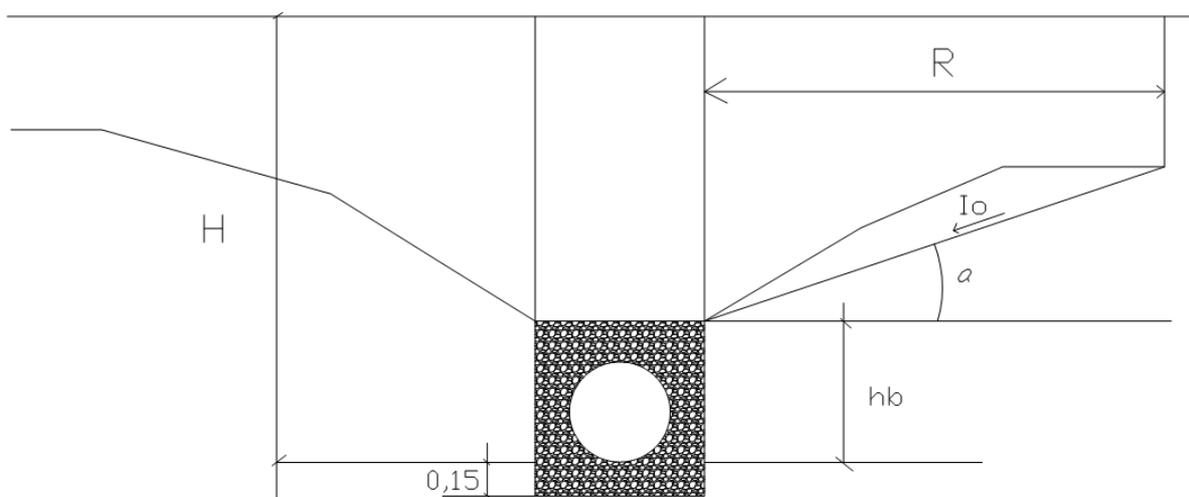


Figure 36: Schémas de calcul de drain

H : épaisseur de la couche intéressée ;

Ho : hauteur minimale de l'eau ;

lo : pente de terrain sur les deux côtés du drain ;

R : rayon d'action.

En appliquant la loi de Darcy, on a la formule suivante :

$$Q_c = \frac{kB}{R} (H^2 - H_o^2)$$

Avec :

$$H_o = \frac{I_o}{2 - I_o} H \text{ (m)}$$

$$\text{tg } \alpha = I_o = \frac{H - H_o}{R}$$

D'où :

$$R = \frac{H - H_o}{I_o} \text{ (m)}$$

B : largeur de la nappe (ou eau d'infiltration) en (m) ;

Qc : le débit à évacuer en (m³/s).

Pour la mise en œuvre des drains, on les place à 2,50 m du bord de la piste d'envol c'est-à-dire dans la partie des accotements.

b- Calcul de Qc

$$Q_c = \frac{kB}{R} (H^2 - H_o^2)$$

Avec : **k = 25 m/j** : coefficient de perméabilité pour un terrain argileux

lo = 50% correspondant à k

$$H_o = \frac{I_o}{2 - I_o} H \text{ (m)}$$

Comme, on a **H = 1,06 m** pour la piste à partir du seuil 13 et **H = 0,72 m** pour la piste à partir du seuil 31.

Détermination de Ho

- Pour la piste au seuil 13 :

$$H_o = \frac{0,5}{2 - 0,5} 1,06$$

$$\underline{H_o = 0,35 \text{ m}}$$

- Pour la piste au seuil 31 :

$$H_o = \frac{0,5}{2 - 0,5} 0,72$$

$$\underline{H_o = 0,24 \text{ m}}$$

Détermination de R

- Pour la piste au seuil 13 :

$$R = \frac{H - H_o}{I_o} \text{ (m)}$$

$$R = \frac{1,06 - 0,35}{0,5}$$

$$\underline{R = 1,42 \text{ m}}$$

- Pour la piste au seuil 31 :

$$R = \frac{H - H_o}{I_o} \text{ (m)}$$

$$R = \frac{0,72 - 0,24}{0,5}$$

$$\underline{R = 0,96 \text{ m}}$$

Détermination de Qc

$$Q_c = \frac{kB}{R} (H^2 - H_o^2)$$

En prenant B = 2 mm = 0,002 m

- Pour la piste au seuil 13 :

$$Q_c = \frac{25 \times 0,002}{1,42} (1,06^2 - 0,35^2)$$

$$Q_c = 0,035 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Pour la piste au seuil 31 :

$$Q_c = \frac{25 \times 0,002}{0,96} (0,72^2 - 0,24^2)$$

$$Q_c = 0,024 \text{m}^3/\text{j}$$

2. Calcul hydraulique de tuyau de drainage et de la pente de la tranchée

Sachant que pour raison de sécurité, le débit à évacuer par tuyau est de :

$$Q_t = 1,5Q_c$$

- Pour la piste au seuil 13 :

$$Q_t = 0,0525 \text{m}^3/\text{j}$$

- Pour la piste au seuil 31 :

$$Q_t = 0,036 \text{m}^3/\text{j}$$

a- Pour évacuer le débit

Soit i_t : la pente de la tranchée, alors on a l'inégalité suivante :

$$i_t \geq \left[\frac{1,5Q_c}{\pi \left(\frac{dt^2}{4}\right) K \left(\frac{dt}{4}\right)^{0,66}} \right]^2$$

K : coefficient de rugosité du tuyau utilisé ;

Pour une surface lisse de béton, on a $K = 83$

d_t : diamètre de tuyau.

b- Pour éviter l'affouillement

$$i_t \leq \left[\frac{1,2}{K \left(\frac{dt}{4}\right)^{0,66}} \right]^2$$

c- Pour éviter l'ensablement

$$i_t \geq \left[\frac{0,5}{K \left(\frac{dt}{4} \right)^{0,66}} \right]^2$$

➤ **Pour $d_t = 0,20$ cm**

- Pour la piste au seuil 13 :

$$Q_c = 0,035 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$i_t \geq 1,77\%$$

$$i_t \leq 1,09\%$$

$$i_t \geq 0,19\%$$

Bref, on a remarqué qu'il y a une contradiction entre ces valeurs, alors on va prendre une autre valeur de dt.

- Pour la piste au seuil 31 :

$$Q_t = 0,024 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$i_t \geq 0,69\%$$

$$i_t \leq 1,09\%$$

$$i_t \geq 0,19\%$$

On peut constater que la valeur prise pour le diamètre du tuyau est la bonne pour la résolution de ces inéquations puisque que :

$$0,19\% < 0,69\% \leq i_t \leq 1,09\%$$

Finalement on va prendre comme pente de la tranchée **$i_t = 1\%$** .

➤ **Pour $d_t = 0,25$ cm**

- Pour la piste au seuil 13 :

$$Q_c = 0,035 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$i_t \geq 0,54\%$$

$$i_t \leq 0,81\%$$

$$i_t \geq 0,14\%$$

On peut constater que la valeur prise pour le diamètre du tuyau est la bonne pour la résolution de ces inéquations puisque :

$$0,14\% < 0,54\% \leq i_t \leq 0,81\%$$

Finalement on va prendre comme pente de la tranchée $i_t = 0,7\%$

3. Calcul de nombre de drains et nombre de puisards

a- Hypothèses de calcul

- Selon la nature du sol de la plate-forme, on a décidé de mettre des drains et des puisards seulement dans la partie de la construction neuve (610 m à partir du seuil 13 et 500 m à partir du seuil 31) ;
- On choisira le drain préfabriqué de longueur standard de 2 m ;
- Les puisards sont faites en maçonnerie de moellons (0,20 x 0,20 x 0,20), avec une profondeur de 3 m, une largeur de 2 m, et une longueur de 2 m ;
- L'entre axe des puisards sera de 100 m pour bien évacuer l'eau.

b- Calcul du nombre de drains et de puisards

Comme on a une longueur de 610 m et 500 m, alors après calcul, on a trouvé pour un seul côté latéral au niveau de l'accotement 305 drains au seuil 13 et 250 drains au seuil 31, 6 puisards au seuil 13 et 5 puisards au seuil 31, et enfin 42 tuyau drainant pour le seuil 13 et 35 tuyau drainant pour le seuil 31 (drains d'amenés vers puisards de longueur totale de 14 m pour chaque puisard).

Le tableau suivant donne le résultat final :

Tableau 78: Nombres des drains, puisards et drains d'amenés

<i>Drain (Unité)</i>	<i>Puisard (unité)</i>	<i>Drain d'amenés (unité)</i>
1110	22	154

CONCLUSION PARTIELLE

Étant donné que l'eau est le premier ennemi de la route et de la chaussée, il est nécessaire d'éviter la stagnation de l'eau sur la surface de la chaussée.

Suite à la quantité de pluie dans la Région de Diana, pour l'évacuation des eaux de ruissellement, on a décidé de mettre comme assainissement des drains.

Pour pouvoir sortir l'eau de l'emprise de la chaussée il doit y avoir environ : 1 264 drains et 22 puisards a proximité de la chaussée.

A la troisième partie on va savoir l'étude économique et l'étude d'impacts environnementaux

PARTIE III : ETUDE ECONOMIQUE ET ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Chapitre I : EVALUATION DU COUT DES TRAVAUX

L'étude financière d'un projet a pour principal but d'évaluer la rentabilité d'un projet. Cette dernière permet de décider la réalisation ou non des travaux. Même si les travaux sont rentables économiquement, leur réalisation dépend essentiellement des moyens financiers. Le plus souvent, les grands travaux de génie civil font appel aux bailleurs de fond pour leur financement.

La première étape de l'étude financière débute par l'évaluation des coûts des travaux. En général, le coût total du projet est la somme des :

- ✓ Coût de conception et d'étude ;
- ✓ Coût de construction ;
- ✓ Coût d'entretien pendant l'exploitation.

C'est au niveau de la construction que la majorité des investissements sont consacrés. L'évaluation du coût des travaux suit les étapes suivantes :

- La description des différents travaux par le devis descriptif ;
- La quantification de ces travaux par le devis quantitatif ;
- L'estimation des coûts des travaux par l'établissement du Bordereau Détail Estimatif (BDE)

I- LE DEVIS DESCRIPTIF

Il désigne les ouvrages et explique le contenu des prix relatifs à ces ouvrages. Il décrit globalement les recommandations et les procédés de mise en œuvre des travaux.

D'abord on va définir les différents prix nécessaires à l'établissement du BDE.

➤ Prix 101 : Installation et repli de chantier :

C'est un prix global et forfaitaire.

Il rémunère l'aménagement et le repli de chantier nécessaire à l'exécution des travaux ainsi que les installations de chantier du titulaire et du laboratoire. Ce prix comprend la fourniture et la mise en place des moyens de signalisation comme les balises, cônes et les panneaux divers. Aussi, toutes les installations provisoires nécessaires au maintien de la circulation sur la rue sont incluses dans ce prix.

Le repli de chantier comprend la remise en état de tous les lieux d'intervention, l'enlèvement des produits provenant de l'exécution des travaux, le rapatriement des matériels.

➤ **Prix102 : Prestation du laboratoire :**

C'est un prix global et forfaitaire.

Ce prix est destiné à rémunérer les divers essais et sondages géotechniques. Ce prix s'établit en considérant l'aménagement et le repli des matériels de laboratoire, l'exécution des essais et de sondages.

➤ **Prix103 : Contrôle et surveillance :**

C'est un prix global et forfaitaire.

Ce prix rémunère le contrôle et la surveillance des travaux par le bureau d'étude.

➤ **Prix201 : Désherbage et débroussaillage :**

Ce prix rémunère le désherbage, le débroussaillage et le décapage du terrain. Il s'applique au mètre carré (m²) de la surface traitée. Il a été basé tout en tenant compte :

- Evidemment le désherbage, l'abattage et le dessouchage des arbres ;
- L'enlèvement, le transport des produits obtenus jusqu'au lieu de décharge ;
- Toutes sujétions d'accès.

➤ **Prix 202 : Remblais ordinaires en matériau d'emprunt :**

Ce prix rémunère au mètre cube (m³) la fourniture et la mise en œuvre de remblais qui va constituer la plate forme de la nouvelle chaussée construite sur le terrain naturel.

Il comprend :

- La fourniture de matériaux d'emprunt et leur transport pour une distance moins de 25 km;
- La mise en œuvre ;
- Le compactage et toutes sujétions.

➤ **Prix 301 : Couche de Béton Bitumineux**

Ce prix s'applique à la tonne (T) de Béton Bitumineux nécessaire au renforcement de la chaussée existante et à la construction d'une nouvelle chaussée.

Ce prix a été établi en considérant :

- Tous les frais et sujétions de fabrication de ce Béton Bitumineux au central ;
- Le transport de ce Béton Bitumineux au lieu d'utilisation ;
- Evidemment la mise en œuvre de la couche de béton bitumineux.

➤ **Prix 302 : Cut-back 0/1 pour imprégnation**

Ce prix s'applique au mètre carré (m²) de surface à imprégner à l'aide de cut-back 0/1.

Il comprend :

- Tous les frais et sujétions de fabrication de ce cut-back ;
- Le transport de ce cut-back jusqu'au lieu d'utilisation ;
- Les dopes éventuels ;
- Evidemment l'épandage de ce cut-back sur la surface de tout venant.

➤ **Prix 303 : Cut-back 400/600 pour accrochage**

Ce prix s'applique au mètre carré (m²) de surface dans laquelle on va appliquer le cut-back 400/600.

Il comprend :

- Tous les frais et sujétions de fabrication ;
- Le transport de ce cut-back jusqu'au lieu d'utilisation ;
- Le balayage et le nettoyage de la surface ;
- Tous les frais et sujétions de mise en œuvre.

➤ **Prix 304 : Couche de base en Grave Bitume**

Ce prix s'applique à la tonne (T) de la fourniture de Grave Bitume appliquée à la couche de base de la nouvelle chaussée.

Il s'établit en considérant :

- La fourniture des matériaux et leur transport jusqu'au lieu d'utilisation pour une distance moins de 25 km ;
- La mise en œuvre de la Grave Bitume pour couche de base.

➤ **Prix 305 : Couche de GCNT 0/31⁵**

Ce prix rémunère au mètre cube (m³) du volume de la couche de fondation en GCNT 0/31⁵ de la nouvelle chaussée souple.

Il comprend :

- La fourniture des matériaux et leur transport jusqu'au lieu d'emploi pour une distance maximale de 25 km ;
- La mise en œuvre de la couche de fondation.

➤ **Prix 306 : Tout Venant de Concassage 0/60 pour couche de fondation**

Ce prix rémunère au mètre cube (m³) du volume de la couche de fondation en Tout Venant de Concassage 0/60 de la nouvelle chaussée souple.

Il comprend :

- La fourniture du matériau et son transport jusqu'au lieu d'emploi pour une distance maximale de 25 km ;
- La mise en œuvre de la couche de fondation.

➤ **Prix 307 : Couche anticapillaire et anti-contaminante (sable)**

Ce prix s'applique au mètre cube (m³) du volume de la couche anticapillaire en sable de la nouvelle chaussée.

Il comprend :

- La fourniture du matériau et son transport jusqu'au lieu d'emploi pour une distance maximale de 25 km ;
- La mise en œuvre couche de la couche anticapillaire.

➤ **Prix 309 : Peinture pour balisage diurne**

Ce prix s'applique au kilogramme (kg) de peinture pour balisage diurne.

Il s'établit en tenant compte :

- La fourniture de la peinture ;
- Le lavage et le traçage de la surface ;
- Le balayage de la surface ;
- La mise en œuvre de la peinture à raison de 1 kg/m².

➤ **Prix 310 : Balisage lumineux**

Ce prix s'applique au mètre linéaire de longueur de pose des feux pour balisage nocturne.

Ce prix se déduit en tenant compte :

- La fourniture des matériaux pour fabriquer un béton de fixation ;
- La fourniture des câbles électriques pour l'alimentation des appareils lumineux ;
- La mise en œuvre du balisage.

➤ **Prix 311 : Matériau sélectionné**

Ce prix s'applique au mètre cube (m^3) de volume de la couche de roulement en matériau sélectionné de la bande de piste.

Ce prix considère :

- La fourniture de ces matériaux ;
- Leur transport sur une distance maximale de 25 km et toutes sujétions ;
- La mise en œuvre de la couche de roulement suivi d'un léger compactage.

➤ **Prix 312 : Engazonnement**

Ce s'applique au mètre carré (m^2) de surface d'engazonnement de bandes, de talus de remblai et déblai et des abords d'ouvrages.

L'établissement de ce prix tient compte des les faits suivants :

- L'extraction du gazon en plaques jointives de 20 cm de coté et de 10 cm d'épaisseur ;
- Le chargement ainsi que le transport de ces gazons jusqu'aux lieux d'emploi ;
- La pose et le réglage de ces gazons ;
- La fixation par piquets de mottes sur talus ;
- L'arrosage et l'entretien jusqu'à reprise vivace.

➤ **Prix 313 : Protection des gazons contre l'éboulement et l'affouillement**

Ce prix s'applique au mètre linéaire (ml) de longueur de talus protégé contre l'affouillement et l'éboulement.

Dans ce prix, on a pris en considération :

- Le battage jusqu'au refus des micros pieux en bois de 15 cm de diamètre le long du fond de talus ;
- La pose des sacs remplis de sable entre le talus et les micros pieux.

➤ **Prix 315 : Drain d'évacuation**

Ce prix rémunère au mètre linéaire (ml) de longueur du drain nécessaire pour l'évacuation des eaux.

Il comprend :

- Tous les frais et sujétions de fabrication du drain au central ;
- Le transport du drain au lieu d'utilisation ;
- Evidemment la mise en œuvre du drain.

➤ **Prix 315 : Puisard**

Ce prix rémunère à l'unité du nombre de puisard nécessaire pour recueillir l'eau venant des drains.

Il comprend :

- La fourniture et le transport des matériaux requis pour la réalisation du puisard ;
- Les terrassements, fouille ;
- La mise en œuvre de la maçonnerie ;
- La mise en œuvre de la dalle de béton de 15 cm d'épaisseur.

➤ **Prix 401 : Couche de roulement en béton de ciment Q350**

Ce s'applique au mètre cube (m^3) de volume de la couche de roulement en béton de ciment dosé à $350 \text{ kg}/m^3$.

Il comprend :

- La fourniture et le transport du matériau jusqu'au lieu d'emploi ;
- La fabrication de la dalle de béton ayant un panneau de 6×8 ;
- Le compactage du matériau de remblaiement ;
- La mise en place de la dalle et de ses joints sur la couche de fondation.

➤ **Prix 402 : Couche de fondation en grave ciment**

Il s'applique au mètre cube (m^3) du volume de la couche de fondation en grave ciment de la nouvelle chaussée rigide.

Il comprend :

- La fourniture du matériau, leur transport sur une distance de moins de 25 km ;
- La réalisation de la couche de fondation à partir de ces matériaux.

II- LE DEVIS QUANTITATIF

L'établissement d'un devis quantitatif est la quantification des travaux par déduction de volume, de surface de poids ou de nombre d'unité suivant le prix qui lui est attribué.

1. Travaux de renforcement d'une chaussée

➤ **Prix 301 : Béton Bitumineux 0/14**

Tableau 79: Tableau quantitatif du Béton Bitumineux 0/14 pour renforcement

Partie concernée	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Quantité	
			En (m ³)	En (T)
Piste d'envol	132 000	0,05	6 600	16 170
Voie de circulation	2 996	0,05	149,8	367
Aire de stationnement	105 000	0,05	5 250	12 863
Piste en chaussée rigide	18 000	0,05	900	2 205
TOTAL			12 800	31 605

➤ **Prix 302 : Cut-back 0/1 pour imprégnation**

Tableau 80: Devis quantitatif du Cut-Back 0/1 pour renforcement

Partie concernée	Surface (m ²)	Dosage	Quantité (Kg)
Piste d'envol	132 000	0,6	79 200
Voie de circulation	2 996	0,6	1798
Aire de stationnement	105 000	0,6	63 000
Piste en chaussée rigide	18 000	0,6	10 800
TOTAL	257 996	0,6	31 605

➤ **Prix 302 : Cut-back 400/600 pour couche d'accrochage**

Tableau 81: Devis quantitatif du Cut-Back 400/600 pour renforcement

Partie concernée	Surface (m ²)	Dosage	Quantité (Kg)
Piste d'envol	132 000	0,6	79 200
Voie de circulation	2 996	0,6	1798
Aire de stationnement	105 000	0,6	63 000
Piste en chaussée rigide	18 000	0,6	10 800
TOTAL	257 996	0,6	31 605

➤ **Prix 304 : Grave Bitume pour couche de base**

Tableau 82: Devis quantitatif de la Grave Bitume pour renforcement

Partie concernée	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Quantité	
			En (m ³)	En (T)
Piste d'envol	132 000	0,16	21 120	50 668
Voie de circulation	2 996	0,15	449,4	1 079
Aire de stationnement	105 000	0,16	16 800	40 320
Piste en chaussée rigide	18 000	0,15	2 700	6 480
TOTAL			98 547	

➤ **Prix 305 : GCNT 0/31⁵ pour couche de fondation**

Tableau 83: Devis quantitatif de la GCNT 0/31⁵ pour renforcement

Partie concernée	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Quantité (m ³)
Piste d'envol	132 000	0,05	6 600
Piste d'envol excès	33 000	0,34	11 220
Aire de stationnement	2 500	0,36	900
Piste en chaussée rigide	4 500	0,45	2 025
TOTAL			20 745

➤ **Prix 308 : Peinture pour balisage diurne**

Tableau 84: Devis quantitatif du balisage diurne pour renforcement

Partie concernée	Surface (m ²)	Dosage (Kg/m ²)	Quantité (Kg)
Chaussée renforcé	30 000	1	30 000

➤ **Prix 310 : Balisage lumineux**

Tableau 85: Devis quantitatif du balisage lumineux pour renforcement

Partie concernée	Quantité (ml)
Chaussée renforcé	5 000

2. Travaux de prolongement d'une chaussée

a- Chaussée souple

➤ Prix 201 : Désherbage et débroussaillage

Tableau 86: Devis quantitatif de désherbage et débroussaillage

Partie concernée	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface (m ²)
Terrain naturel	300	300	90 000

➤ Prix 202 : Remblais ordinaires en matériaux d'emprunt

Tableau 87: Devis quantitatif de remblais ordinaire pour la nouvelle chaussée

Partie concernée	Volume (m ³)
Terrain naturel	81 20

➤ Prix 301 : Béton Bitumineux 0/14

Tableau 88: Devis quantitatif du Béton Bitumineux 0/14 pour la nouvelle chaussée souple

Partie concernée	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Quantité	
			En (m ³)	En (T)
Piste d'envol au seuil 13	36 600	0,05	1 830	4 484
Piste d'envol au seuil 31	30 000	0,05	1 500	3 675
TOTAL			8 159	
Accotement au seuil 13	9 150	0,05	457,5	1 121
Accotement au seuil 31	7 500	0,05	375	919
TOTAL			2 040	

➤ Prix 302 : Cut-back 0/1 pour imprégnation

Tableau 89: Devis quantitatif du Cut-Back 0/1 pour la nouvelle chaussée souple

Partie concernée	Surface (m ²)	Dosage (Kg/m ²)	Quantité (Kg)
Piste d'envol au seuil 13	36 600	1.2	43 920
Piste d'envol au seuil 31	30 000	1.2	36 000
TOTAL	66 600	1,2	79 920
Accotement au seuil 13	9 150	1.2	10 980
Accotement au seuil 31	7 500	1.2	9 000
TOTAL	16 650	1,2	19 980

➤ **Prix 303 : Cut-back 400/600 pour accrochage**

Tableau 90: Devis quantitatif du Cut-back 400/600 pour la nouvelle chaussée souple

Partie concernée	Surface (m ²)	Dosage (Kg/m ²)	Quantité (Kg)
Piste d'envol au seuil 13	36 600	1.2	43 920
Piste d'envol au seuil 31	30 000	1.2	36 000
TOTAL	66 600	1,2	79 920
Accotement au seuil 13	9 150	1.2	10 980
Accotement au seuil 31	7 500	1.2	9 000
TOTAL	16 650	1,2	19 980

➤ **Prix 304 : Grave Bitume pour couche de base**

Tableau 91: Devis quantitatif du Grave Bitume pour la nouvelle chaussée souple

Partie concernée	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Quantité	
			En (m ³)	En (T)
Piste d'envol au seuil 13	36 600	0,16	5 856	14 054
Piste d'envol au seuil 31	30 000	0,16	4 800	11 520
			TOTAL	25 574
Accotement au seuil 13	9 150	0,10	915	2 196
Accotement au seuil 31	7 500	0,10	750	1 800
			TOTAL	3 996

➤ **Prix 305 : GCNT 0/31⁵ pour couche de fondation**

Tableau 92: Devis quantitatif du GCNT 0/31⁵ pour la nouvelle chaussée souple

Partie concernée	Surface (m ²)	Epaisseur (m)	Quantité (m ³)
Piste d'envol au seuil 13	36 600	0,35	12 810
Piste d'envol au seuil 31	30 000	0,31	9 300
			TOTAL
Accotement au seuil 13	9 150	0,30	2 745
Accotement au seuil 31	7 500	0,40	3 000
			TOTAL
			5 745

➤ **Prix 306 : Tout Venant de Concassage 0/60 pour couche de fondation**

Tableau 93: Devis quantitatif du Tout Venant de Concassage 0/60 pour la nouvelle chaussée souple

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>Epaisseur (m)</i>	<i>Quantité (m³)</i>
<i>Piste d'envol au seuil 13</i>	36 600	0,30	10 980
<i>Accotement au seuil 13</i>	9 150	0,25	2 288
TOTAL			13 268

➤ **Prix 307 : Couche anti-contaminante et anticapillaire (sable)**

Tableau 94: Devis quantitatif de la couche anti-contaminante et anticapillaire pour la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>Epaisseur (m)</i>	<i>Quantité (m³)</i>
<i>Piste d'envol au seuil 13</i>	36 600	0,20	7 320
<i>Piste d'envol au seuil 31</i>	30 000	0,20	6 000
TOTAL			13 320
<i>Accotement au seuil 13</i>	9 150	0,20	1 830
<i>Accotement au seuil 31</i>	7 500	0,20	1 500
TOTAL			3 330
<i>Bande d'envol au seuil 13</i>	95 100	0,20	19 020
<i>Bande d'envol au seuil 31</i>	78 600	0,20	15 720
TOTAL			34 740

➤ **Prix 309 : Peinture pour balisage diurne**

Tableau 95: Devis quantitatif du balisage diurne pour la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>Dosage (Kg/m²)</i>	<i>Quantité (Kg)</i>
<i>Nouvelle Chaussée</i>	13 320	1	13 320

➤ **Prix 310 : Balisage lumineux**

Tableau 96: Devis quantitatif du balisage lumineux pour la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Quantité (ml)</i>
<i>Nouvelle Chaussée</i>	2 320

➤ **Prix 311 : Couche de matériau sélectionné**

Tableau 97: Devis quantitatif du matériau sélectionné pour la nouvelle chaussée souple

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>Epaisseur (m)</i>	<i>Quantité (m³)</i>
<i>Bande de la Piste d'envol au seuil 13</i>	95 100	0,20	19 020
<i>Bande de la Piste d'envol au seuil 31</i>	78 600	0,20	15 720
		TOTAL	34 740
<i>Talus de la plate forme au seuil 13</i>	5 120	0,20	1 024
<i>Talus de la plate forme au seuil 31</i>	4 240	0,20	848
		TOTAL	1 872

➤ **Prix 312 : Engazonnement**

Tableau 98: Devis quantitatif d'engazonnement de la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>
<i>Toutes les bandes de piste</i>	173 700
<i>Tous les talus de la plate forme</i>	9 360

➤ **Prix 313 : Protection des gazons par micro pieux avec sac du sable**

Tableau 99: Devis quantitatif des gazons de protection de talus pour la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Longueur (ml)</i>
<i>Talus de la plate forme sur terrain naturel</i>	2 340

➤ **Prix 315 : Drain d'évacuation**

Tableau 100: Devis quantitatif du drain d'évacuation pour la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Longueur (ml)</i>
<i>Des deux côtés de la nouvelle chaussée</i>	2 220

➤ **Prix 316 : Puisard**

Tableau 101: Devis quantitatif du puisard pour la nouvelle chaussée

<i>Partie concernée</i>	<i>Nombre (U)</i>
<i>Des deux côtés de la nouvelle chaussée</i>	22

82 Chaussée rigide

➤ **Prix 401 : Couche de roulement en Béton de Ciment**

Tableau 102: Devis quantitatif du Béton de Ciment pour la nouvelle chaussée rigide

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>Epaisseur (m)</i>	<i>Quantité (m³)</i>
<i>Piste d'envol au seuil 13</i>	36 600	0,34	12 444
<i>Piste d'envol au seuil 31</i>	30 000	0,33	9 900
		TOTAL	22 344

➤ **Prix 402 : Couche de fondation en Grave Ciment**

Tableau 103: Devis quantitatif du Grave Ciment pour la nouvelle chaussée rigide

<i>Partie concernée</i>	<i>Surface (m²)</i>	<i>Epaisseur (m)</i>	<i>Quantité (m³)</i>
<i>Piste d'envol au seuil 13</i>	36 600	0,25	9 150
<i>Piste d'envol au seuil 31</i>	30 000	0,25	7 500
		TOTAL	16 650

III- BORDEREAU DE DETAIL ESTIMATIF (B.D.E.)

Le Bordereau Détail Estimatif évalue les coûts des différents travaux et à partir du devis quantitatif et du prix unitaire de chacun des travaux. Le prix unitaire est calculé à l'aide des sous détails de prix cosignés en annexe.

La somme des coûts des différents travaux et des prestations de services donne le coût total du projet que l'on annoncera lors de la soumission d'appel d'offre.

1. B.D.E chaussée souple

Le BDE représenté à l'aide du tableau suivant indique le coût en **Ariary (Ar)** des différents travaux de renforcement et de construction d'une nouvelle chaussée souple.

Tableau 104: BDE des chaussées souples

N° Prix	Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
INSTALLATION DE CHANTIER ET PRESTATION DE LABORATOIRE					
101	Installation de chantier	fft	1	1 500 000 000,00	1 500 000 000,00
102	Prestation du laboratoire	fft	1	700 000 000,00	700 000 000,00
103	Contrôle et surveillance	fft	1	1 200 000 000,00	1 200 000 000,00
TOTAL					3 400 000 000,00
TERRASSEMENT					
201	Désherbage et débroussaillage	m ²	9 000	550,00	4 950 000,00
202	Remblai ordinaire	m ³	81 720	22 640,00	1 850 140 800,00
TOTAL					1 855 090 800,00
RENFORCEMENT CHAUSSEE SOUPLE					
301	Couche de Béton Bitumineux	T	31 605	247 050,00	7 808 015 250,00
302	Cut-back 0/1 pour imprégnation	m ²	257 996	2 910,00	750 768 360,00
303	Cut-back 400/600 pour accrochage	m ²	257 996	2 910,00	750 768 360,00
304	Couche de base en Grave Bitume	T	98 547	168 590,00	16 614 038 730,00
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	20 745	69 930,00	1 450 697 850,00
308	Peinture pour balisage diurne	Kg	30 000	15 520,00	465 600 000,00
310	Balisage lumineux	ml	5 000	800,00	4 000 000,00
TOTAL					27 843 888 550,00
CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE CHAUSSEE SOUPLE					
301	Couche de Béton Bitumineux	T	8 159	247 050,00	2 015 680 950,00
302	Cut-back 0/1 pour imprégnation	m ²	66 600	2 910,00	193 806 000,00
303	Cut-back 400/600 pour accrochage	m ²	66 600	2 910,00	193 806 000,00
304	Couche de base en Grave Bitume	T	25 574	168 590,00	4 311 520 660,00
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	22 110	69 930,00	1 546 152 300,00
306	Couche de fondation en TVC 0/60	m ³	10 980	68 940,00	756 961 200,00
307	Couche anticapillaire et anti-contaminante(sable)	m ³	13 320	12 000,00	159 840 000,00
308	Peinture pour balisage diurne	Kg	13 320	15 520,00	206 726 400,00
310	Balisage lumineux	ml	2 320	800,00	1 856 000,00
TOTAL					9 179 829 836,00
ACCOTEMENTS					
301	Couche de Béton Bitumineux	T	2 040	247 050,00	503 982 000,00
302	Cut-back 0/1 pour imprégnation	m ²	19 980	2 910,00	58 141 800,00
303	Cut-back 400/600 pour accrochage	m ²	19 980	2 910,00	58 141 800,00
304	Couche de base en Grave Bitume	T	3 996	168 590,00	673 685 640,00
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	5 745	69 930,00	401 747 850,00
306	Couche de fondation en TVC 0/60	m ³	2 288	68 940,00	157 734 720,00
307	Couche anticapillaire et anti-contaminante(sable)	m ³	3 330	12 000,00	39 960 000,00
TOTAL					1 893 393 810,00
BANDES					
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	34 740	69 930,00	2 429 368 200,00
307	Couche anticapillaire et anti-contaminante(sable)	m ³	34 740	12 000,00	416 880 000,00
311	Couche de roulement en matériaux sélectionnés	m ³	34 740	23 750,00	825 075 000,00
312	Engazonnement	m ²	173 700	13 730,00	2 384 901 000,00
TOTAL					6 056 224 200,00

PLATES-FORMES					
311	Couche de matériaux sélectionnés	m ³	1 872	23 750,00	44 460 000,00
312	Engazonnement	m ²	9 360	13 730,00	128 512 800,00
313	Micro pieux avec sac de sable	ml	2 340	3 410,00	7 979 400,00
TOTAL					180 952 200,00
ASSAINISSEMENT					
315	Drain d'évacuation	ml	2 220	6 000,00	13 320 000,00
316	Puisard	U	22	196 220,00	4 316 840,00
TOTAL					17 636 840,00
TOTAL					50 427 016 240,00

Total HT = 50 427 016 240 Ar

Total TTC (TVA 20%) = 60 512 419 490 Ar

Les renforcements de la piste et la mise en œuvre de la nouvelle chaussée souple coûtent :

SOIXANTE MILLIARDS CINQ CENTS DOUZE MILLIONS QUATRE CENTS DIX NEUF MILLES QUATRE CENTS QUATRE VINGT DIX ARIARY Arrêté.

2. B.D.E. Chaussée rigide

Le BDE représenté à l'aide du tableau suivant indique le coût en **Ariary (Ar)** des différents travaux de renforcement et de construction d'une nouvelle chaussée rigide

Tableau 105: BDE de la chaussée rigide

N°	Désignations	Unité	Quantité	Prix unitaire	Montant
Prix		é	é		
INSTALLATION DE CHANTIER ET PRESTATION DE LABORATOIRE					
101	Installation de chantier	fft	1	1 500 000 000,00	1 500 000 000,00
102	Prestation du laboratoire	fft	1	700 000 000,00	700 000 000,00
103	Contrôle et surveillance	fft	1	1 200 000 000,00	1 200 000 000,00
TOTAL					3 400 000 000,00
TERRASSEMENT					
201	Désherbage et débroussaillage	m ²	9 000	550,00	4 950 000,00
202	Remblai ordinaire	m ³	81 720	22 640,00	1 850 140 800,00
TOTAL					1 855 090 800,00
RENFORCEMENT CHAUSSEE SOUPLE					
301	Couche de Béton Bitumineux	T	31 605	247 050,00	7 808 015 250,00
302	Cut-back 0/1 pour imprégnation	m ²	257 996	2 910,00	750 768 360,00
303	Cut-back 400/600 pour accrochage	m ²	257 996	2 910,00	750 768 360,00
304	Couche de base en Grave Bitume	T	98 547	168 590,00	16 614 038 730,00
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	20 745	69 930,00	1 450 697 850,00
308	Peinture pour balisage diurne	Kg	30 000	15 520,00	465 600 000,00
TOTAL					27 839 888 550,00

Mémoire de fin d'études : Etude économique et étude d'impacts environnementaux

CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE CHAUSSEE RIGIDE					
401	Couche de roulement en Béton de Ciment Q350	m ³	22 344	313 850,00	7 012 664 400,00
402	Couche de fondation en Grave Ciment	m ³	16 650	117 930,00	1 963 534 500,00
307	Couche anticapillaire et anti-contaminante(sable)	m ³	13 320	12 000,00	159 840 000,00
308	Peinture pour balisage diurne	Kg	13 320	15 520,00	206 726 400,00
310	Balisage lumineux	ml	2320	800,00	1 856 000,00
TOTAL					9 396 765 300,00
ACCOTEMENTS					
301	Couche de Béton Bitumineux	T	2 040	247 050,00	503 982 000,00
302	Cut-back 0/1 pour imprégnation	m ²	19 980	2 910,00	58 141 800,00
303	Cut-back 400/600 pour accrochage	m ²	19 980	2 910,00	58 141 800,00
304	Couche de base en Grave Bitume	T	3 996	168 590,00	673 685 640,00
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	5 745	69 930,00	401 747 850,00
306	Couche de fondation en TVC 0/60	m ³	2 288	68 940,00	157 734 720,00
307	Couche anticapillaire et anti-contaminante(sable)	m ³	3 330	12 000,00	39 960 000,00
TOTAL					1 893 393 810,00
BANDES					
305	Couche de fondation en GCNT 0/31 ⁵	m ³	34 740	69 930,00	2 429 368 200,00
307	Couche anticapillaire et anti-contaminante(sable)	m ³	34 740	12 000,00	416 880 000,00
311	Couche de roulement en matériaux sélectionnés	m ³	34 740	23 750,00	825 075 000,00
312	Engazonnement	m ²	173 700	13 730,00	2 384 901 000,00
TOTAL					6 056 224 200,00
PLATES-FORMES					
311	Couche de matériaux sélectionnés	m ³	1 872	23 750,00	44 460 000,00
312	Engazonnement	m ²	9 360	13 730,00	128 512 800,00
313	Micro pieux avec sac de sable	ml	2 340	3 410,00	7 979 400,00
TOTAL					180 952 200,00
ASSAINISSEMENT					
315	Drain d'évacuation	ml	2 220	6 000,00	13 320 000,00
316	Puisard	U	22	196 220,00	4 316 840,00
TOTAL					17 636 840,00
TOTAL					50 639 951 700,00

Total HT = 50 639 951 700 Ar

Total TTC (TVA 20%) = 60 767 942 040 Ar

Les renforcements de la piste et la mise en œuvre de la nouvelle chaussée rigide coûtent :

SOIXANTE MILLIARDS SEPT CENTS SOIXANTE SEPT MILLIONS NEUF CENTS QUARANTE DEUX MILLES QUARANTE ARIARY Arrêté.

CONCLUSION PARTIELLE

L'évaluation du coût des travaux a permis de connaître le devis descriptif et quantitatif de chaque matériau. Il donne aussi le prix estimatif de chaque travail à faire.

On a pu déterminer dans ce chapitre que pour l'aménagement de la piste d'aérodrome d'Andrakaka, la mise en œuvre d'une chaussée rigide comme prolongement coûte plus chère que celle de la chaussée souple de presque deux cents cinquante millions d'Ariary environ.

Au chapitre suivant, on va voir l'étude de rentabilité.

Chapitre II : ETUDE DE RENTABILITE

I- VALEUR ACTUALISEE NETTE (VAN)

Le calcul de la VAN doit passer par le calcul des recettes brutes et les dépenses.

En effet, étant donnée une durée de vie n de la chaussée, la VAN peut s'exprimer de la façon suivante :

VAN=Somme des recettes nettes actualisées durant la période n - Investissement.

Le projet est rentable si ***VAN>0*** et elle ne l'est pas si ***VAN<0***.

II- TAUX DE RENTABILITE INTERNE (TRI)

Le TRI est un taux qui annule la VAN.

De plus, si ce taux est supérieur au Taux d'Escompte Bancaire (TEB), le projet est rentable.

Actuellement, ce taux est de 12% dans notre pays.

III- DELAIS DE RECUPERATION NORMALE

La période où l'investisseur récupère ses dépenses initiales. Pour cette période, le Cash-flow cumulé s'annule.

IV- RECETTES ET CHARGES AERONAUTIQUES

1. Recettes

Les ressources financières de l'ADEMA proviennent des recettes recueillies auprès des utilisateurs et des exploitants des différentes infrastructures et superstructures de l'aéroport. Ces recettes se présentent sous forme de redevance.

Il y a deux sortes de redevances :

- ✓ Les redevances aéronautiques ;
- ✓ Les redevances extra aéronautiques.

a- Redevances aéronautiques

Pour cette redevance, on doit se référer à l'aérodrome d'Ivato.

On distingue plusieurs types de redevances aéronautiques :

▣ La redevance d'atterrissage : l'aéronef qui atterrit sur la piste est soumis à cette redevance dont le tarif varie en fonction du poids maximal au décollage et du type de trafic.

Tableau 106: Redevance d'atterrissage pour le trafic national

<i>Tonnage</i>	<i>Montant hors taxes (Ar)</i>
<i>Minimum de perception</i>	907,60
<i>Pour les 14 premières tonnes</i>	334,60
<i>De 15 à 25 tonnes</i>	910,00
<i>De 26 à 75 tonnes</i>	1 711,80
<i>De 76 à 150 tonnes</i>	2 068,00
<i>Au dessus de 150 tonnes</i>	19 633,00

Tableau 107: Redevance d'atterrissage pour le trafic régional et international

<i>Tonnage</i>	<i>Montant hors taxes (Ar)</i>	
	<i>€/T</i>	<i>Ar/T</i>
<i>Pour les 25 premières tonnes</i>	1,86	5048,00
<i>De 26 à 75 tonnes</i>	3,68	9988,00
<i>De 76 à 150 tonnes</i>	5,08	13787,00
<i>Au dessus de 150 tonnes</i>	4,74	12864,00

1€ = 2 714 Ariary

- La redevance de stationnement : elle est appliquée à un aéronef qui stationne sur les aires réservées. Elle est fonction de la durée de stationnement. Par exemple, pour l'aérodrome d'Ivato, elle vaut 46 Ar/T/h.
- La redevance carburant : la redevance est perçue auprès des exploitants qui occupent des terrains ou d'immeubles pour distribuer des carburants des aéronefs. Le tarif est déduit de la quantité de carburant délivrée en utilisant le taux de :
 - *3,6 Ar/l pour le jet fuel ;
 - *4,8 Ar/l pour l'avgas.
- La redevance balisage : elle est appliquée à tout aéronef effectuant un roulage sur les aires balisées un taux de 71100 Ar par atterrissage ou décollage.
- La redevance passagère : les passagers sont soumis à une redevance en raison de l'utilisation des ouvrages des locaux d'usage commun servant à l'embarquement, débarquement des compagnies aériennes. Elle est perçue indirectement aux voyageurs lors de l'achat de billet.

Tableau 108: Redevance passagère

<i>Réseaux</i>	<i>Part ADEMA</i>
National (à l'arrivée ou au départ)	2475,00 Ar
Régional (à l'arrivée ou au départ)	6,00\$ (12 816,00Ar)
International (à l'arrivée ou au départ)	7,50\$ (16 020,00Ar)

1\$=2 136 Ar

- La redevance de frets :

Tableau 109: La redevance de frets

<i>Réseaux</i>	<i>Part ADEMA (Ariary)</i>
Minimum de perception	300,00
National (à l'arrivée ou au départ)	1748,00
Régional (à l'arrivée ou au départ)	5658,00
International (à l'arrivée ou au départ)	5658,00

b- Redevances extra aéronautiques

Les redevances extra aéronautiques proviennent des activités commerciales au sein de l'aéroport.

- Redevance domaniale : C'est une location des terrains ou des locaux dans l'enceinte de l'aéroport.
- Redevance commerciale : c'est un pourcentage perçu sur les chiffres d'affaires réalisées par des concessionnaires commerciaux. Ce taux varie de 5% à 15% des valeurs marchandes.
- Redevance pour prestation de service : la fourniture de service est rémunérée, on peut citer la facture de l'électricité, les téléphones et les publicités.
- Redevance de parking auto (péage) : c'est un droit d'entrée aux parcs de stationnement de voitures.

2. Les dépenses

Les dépenses sont des charges d'exploitation hors amortissement. Elles peuvent être classées en deux catégories.

- Les frais d'entretien et de fonctionnement ;
- Les dépenses de personnels.

a- Frais d'entretien et de fonctionnement

Les frais d'entretien et de fonctionnement sont constitués par des diverses charges, à savoir :

- Les charges d'installation d'énergie électrique ;
- Les charges de fonctionnement administratif correspondant aux fournitures de bureau, frais de correspondance, abonnement de la documentation et redevances postales ;
- Les coûts d'entretien des aires revêtues, de l'aérogare et d'autres installations. Ils sont proportionnels au trafic ;
- Les assurances, secours médical, protection et lutte contre l'incendie ;
- Les impôts et taxes.

b- Dépenses du personnel

Ce sont des charges brutes des personnels. L'accroissement annuel de ces charges est d'environ 0,3 fois celle du trafic.

V- CALCUL DES RECETTES ET DES CHARGES

1. Recettes liées aux avions

Pour pouvoir calculer les recettes, il est nécessaire de connaître le nombre de mouvements des avions fréquentant l'aérodrome.

Le tableau suivant récapitule les nombres de mouvements moyens entre le mois de Janvier et le mois d'Août de l'année 2002 et celle de l'A380-800.

Tableau 110: Nombre de mouvements moyens par jour

<i>Réseaux</i>	<i>Appareil</i>	<i>Mouvements par jour</i>
International et régional	A380	1,000
	B747-200	0,400
	B767-300	1,106
	B737-300	2,173
	A340-300	0,825
	DC8	0,062
	A319	0,625
	B737-200	0,138
	B727	0,004
	ATR42	0,031
	ATR72	0,112
	National	B737-300
ATR72		2,683
ATR42		2,294
DHT		3,115

Concernant le nombre de mouvements de calcul des recettes, on considère le nombre de mouvements des avions indiqués dans ce tableau.

La conversion de dollar et de l'euro en Ariary, on va adopter les taux suivants :

1€ = 2 714 Ar ;

1\$ = 2 136 Ar.

a- Pour A380

Masse : 551,4 T ;

Durée de stationnement : 2h ;

Nombre de mouvement : 1/j ;

Redevance atterrissage :

$1,2 \times 2\,714 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times 50 + 75 \times 5,08 + (551,4 - 150) \times 4,74)$

Redevance atterrissage = 8 188 038,00 Ar TTC

Redevance stationnement : $1,2 \times 46 \times 551,4 \times 2 = 60\,875,00$ Ar TTC

Redevance balisage : $1,2 \times 71\,100 \times 2 = 170\,640,00$ Ar TTC

Total : 8 419 553,00 Ar TTC

Pour une année : 3 073 136 845,00 Ar TTC

b- Pour B747-200

Masse : 373,3 T ;

Durée de stationnement : 1,5h ;

Nombre de mouvement : 0,4/j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,4 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times 50 + 75 \times 5,08 + (373,3 - 150) \times 4,74)$$

$$\underline{\text{Redevance atterrissage}} = 2\,175\,467,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance stationnement}} : 1,2 \times 46 \times 373,3 \times 1,5 \times 0,4 = 12\,364,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance balisage}} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,4 = 68\,256,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 2 256 087,00 Ar TTC

Pour une année : 823 471 755,00 Ar TTC

c- Pour A340-300

Masse : 271,9 T ;

Durée de stationnement : 1h ;

Nombre de mouvements : 1/j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,825 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times 50 + 75 \times 5,08 + (271,9 - 150) \times 4,74))$$

$$\underline{\text{Redevance atterrissage}} = 3\,195\,499,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance stationnement}} : 1,2 \times 46 \times 271,9 \times 0,825 = 12\,382,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance balisage}} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,825 = 140\,778,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 3 348 659,00 Ar TTC

Pour une année : 1 222 260 535,00 Ar TTC

d- Pour B767

Masse : 159,6 T ;

Durée de stationnement : 1h ;

Nombre de mouvements : 1,106/j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 1,106 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times 50 + (159,6 - 75) \times 5,08)$$

$$\underline{\text{Redevance atterrissage}} = 2\,378\,299,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance stationnement}} : 1,2 \times 46 \times 159,6 \times 1,106 = 9\,744,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance balisage}} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 1,106 = 188\,728,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 2 576 771,00 Ar TTC

Pour une année : 940 521 415,00 Ar TTC

e- Pour DC8

Masse : 162,38 T ;

Durée de stationnement : 1h ;

Nombre de mouvements : 0,062/j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,062 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times 50 + (162,38 - 75) \times 5,08)$$

$$\text{Redevance atterrissage} = 136\,174,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 1,2 \times 46 \times 162,38 \times 0,062 = 556,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,062 = 10\,580,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 147 310,00 Ar TTC

Pour une année : 53 768 150,00 Ar TTC

f- Pour B737-300

Masse : 62,3 T ;

Durée de stationnement : 0,5h ;

Nombre de mouvements :

– 2,173 pour le réseau international ;

– 2,285 pour le réseau national.

➤ Redevance atterrissage pour le réseau international :

$$1,2 \times 2,173 \times 2\,714 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times (62,3 - 25)) = 1\,300\,603,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 2,173 \times 1,2 \times 46 \times 62,3 \times 0,5 = 3\,736,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2,173 \times 2 = 370\,801,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 1 675 140,00 Ar TTC

Pour une année : 611 426 100,00 Ar TTC

➤ Redevance d'atterrissage pour le réseau national :

$$1,2 \times (334,6 \times 14 + 10 \times 910 + (62,3 - 24) \times 1\,711,8) \times 2,285 = 217\,568,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 2,285 \times 1,2 \times 46 \times 62,3 \times 0,5 = 3\,929,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2,285 \times 2 = 389\,912,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 611 409,00 Ar TTC

Pour une année : 223 164 285,00 Ar TTC

g- Pour A319

Masse : 74,4 T ;

Durée de stationnement : 0,5 h ;

Nombre de mouvements : 0,625 /j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,625 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times (74,4 - 25))$$

$$\underline{\text{Redevance atterrissage}} = 464\,688,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance stationnement}} : 1,2 \times 46 \times 74,4 \times 0,5 \times 0,625 = 1\,283,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance balisage}} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,625 = 106\,650,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 572 621,00 Ar TTC

Pour une année : 209 006 225,00 Ar TTC

h- Pour B737-200

Masse : 57,2 T ;

Durée de stationnement : 0,5 h ;

Nombre de mouvements : 0,138 /j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,138 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times (57,2 - 25))$$

$$\underline{\text{Redevance atterrissage}} = 74\,156,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance stationnement}} : 1,2 \times 46 \times 57,2 \times 0,5 \times 0,138 = 218,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance balisage}} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,138 = 23\,548,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 97 922,00 Ar TTC

Pour une année : 35 741 530,00 Ar TTC

i- Pour B727

Masse : 77T ;

Durée de stationnement : 0,5 h ;

Nombre de mouvements : 0,004 /j ;

Redevance atterrissage :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,004 \times (25 \times 1,86 + 3,68 \times (77 - 25))$$

$$\underline{\text{Redevance atterrissage}} = 3\,099,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance stationnement}} : 1,2 \times 46 \times 77 \times 0,5 \times 0,004 = 9,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\underline{\text{Redevance balisage}} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,004 = 683,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 3 791,00 Ar TTC

Pour une année : 1 383 715,00 Ar TTC

j- Pour ATR 42

Masse : 18,2T ;

Durée de stationnement : 0,5 h ;

Nombre de mouvements :

– 0,031/j pour le réseau international ;

– 2,294/j pour le réseau national

➤ Redevance atterrissage pour le réseau international :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,031 \times 18,2 \times 1,86 = 3\,418,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 1,2 \times 46 \times 18,2 \times 0,5 \times 0,031 = 16,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,031 = 5\,290,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 8 724,00 Ar TTC

Pour une année : 3 184 260,00 Ar TTC

➤ Redevance atterrissage pour le réseau national :

$$1,2 \times 2,294 \times (14 \times 334,6 + (18,2 - 14) \times 910) = 23\,416,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 1,2 \times 46 \times 18,2 \times 0,5 \times 2,294 = 1\,152,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 2,294 = 391\,448,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 416 016,00 Ar TTC

Pour une année : 151 845 840,00 Ar TTC

k- Pour ATR 72

Masse : 21,1T ;

Durée de stationnement : 0,5 h ;

Nombre de mouvements :

– 0,112/j pour le réseau international ;

– 2,683/j pour le réseau national.

➤ Redevance atterrissage pour le réseau international :

$$1,2 \times 2\,714 \times 0,112 \times 21,1 \times 1,86 = 14\,315,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 1,2 \times 46 \times 21,1 \times 0,5 \times 0,112 = 65,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 0,112 = 19\,112,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 33 492,00 Ar TTC

Pour une année : 12 224 580,00 Ar TTC

➤ Redevance atterrissage pour le réseau national :

$$1,2 \times 2,683 \times (14 \times 334,6 + (21,1 - 14) \times 910) = 35\,884,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance stationnement} : 1,2 \times 46 \times 18,2 \times 0,5 \times 2,683 = 1\,348,00 \text{ Ar TTC}$$

$$\text{Redevance balisage} : 1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 2,683 = 391\,448,00 \text{ Ar TTC}$$

Total : 428 680,00 Ar TTC

Pour une année : 156 468 200,00 Ar TTC

I- Pour DHT

Masse : 5,67T ;

Durée de stationnement : 0,5 h ;

Nombre de mouvements : 3,115 /j ;

Redevance atterrissage :

$1,2 \times 3,115 \times 334,6 = 1\,251,00$ Ar TTC

Redevance stationnement : $1,2 \times 46 \times 5,67 \times 0,5 \times 3,115 = 487,00$ Ar TTC

Redevance balisage : $1,2 \times 71\,100 \times 2 \times 3,115 = 531\,543,00$ Ar TTC

Total : 533 281,00 Ar TTC

Pour une année : 194 647 565,00 Ar TTC

Ainsi, le total des recettes liées aux avions atteint **7 712 251 000,00 Ar TTC**.

2. Recettes liées à la cargaison

On distingue deux types de recettes liées à la cargaison :

- La redevance passagère ;
- La redevance de fret.

Le calcul des recettes liées à la cargaison nécessite la connaissance du nombre de et la quantité de fret annuel.

Tableau 111: Quantité de frets et nombre de passagers moyens sur 10 années.

<i>Réseaux</i> →	<i>National</i>	<i>Régional</i>	<i>International</i>
<i>Frets (T)</i>	1 107,5	3 558,3	4 324
<i>Passagers</i>	197 283	58 752	146 201

D'où, on a :

***Redevance fret* = $1,2 \times (1\,748 \times 1\,107,5 + 5\,658 \times (3\,558,3 + 4\,324)) = 55\,840\,756,08$ Ar TTC**

***Redevance passagère* = $1,2 \times (197\,283 \times 2\,475 + 58\,752 \times 6 \times 2\,136 + 146\,201 \times 7,5 \times 2\,136)$**

***Redevance passagère* = 4 300 057 292 Ar TTC**

Le total des recettes liées à la cargaison est de **4 355 898 048,08 Ar TTC**

Ainsi, on a :

***Recettes aéronautiques* = $7\,712\,251\,000 + 4\,355\,898\,048,08 = 12\,068\,149\,050,08$ Ar TTC**

VI- CALCUL DES CHARGES

1. Entretien et réparation

Comme la chaussée routière, l'entretien commence dès la première année de mise en service de la chaussée.

Tableau 112: Coûts d'entretien et des réparations des chaussées

<i>Année</i>	<i>Coûts d'entretien et des réparations de la Chaussée souple (Ar)</i>	<i>Coûts d'entretien et des réparations de la Chaussée rigide (Ar)</i>
2 ^{ème} à 9 ^{ème}	8 000 000,00	7 500 000,00
10 ^{ème} à 15 ^{ème}	60 000 000,00	60 000 000,00

2. Redevance domaniale

Le gestionnaire d'aérodrome, en l'occurrence l'ADEMA, doit payer une redevance domaniale de l'aire de stationnement à l'état. Cette redevance est de 3572 Ar/m².

Or, la superficie de l'aire de stationnement est de 105 000 m².

D'où, la redevance : $105\ 000 \times 3572 \times 1,2 = 450\ 072\ 000,00$ Ar TTC par an.

3. Récapitulation

Recette annuelles : 12 068 149 050,08 Ar ;

Coûts d'investissement :

- Chaussée souple : 60 512 419 490,00 Ar ;
- Chaussée rigide : 60 767 942 040,00 Ar.

VII- CALCUL DE RENTABILITE

1. Chaussée souple

La durée de vie estimée de la chaussée souple est de 10 ans. Les valeurs figurant dans le tableau ci-dessous sont multiples de 1 000 000,00 Ar.

Tableau 113: Calcul du TRI pour chaussée souple

A	investi sseme nt	RED DOM	ENTR et REP	Recettes	CFB	CFBC	CFA (i = 14%)	CFAC ou VAN (i = 14%)	CFA (i = 15%)	CFA ou VAN (i = 15%)
0	60 513				-60 513	-60 513	-60 513	-60 513	-60 513	-60 513
1		450,07		12068,15	11618	-48 895	10191	-50 322	10103	-50 410
2		450,07	8	12068,15	11610	-37 285	8934	-41 388	8779	-41 631
3		450,07	8	12068,15	11610	-25 675	7836	-33 552	7634	-33 998
4		450,07	8	12068,15	11610	-14 065	6874	-26 678	6638	-27 360
5		450,07	8	12068,15	11610	-2 455	6030	-20 648	5772	-21 587
6		450,07	8	12068,15	11610	9 155	5289	-15 358	5019	-16 568
7		450,07	8	12068,15	11610	20 766	4640	-10 718	4365	-12 203
8		450,07	8	12068,15	11610	32 376	4070	-6 648	3795	-8 408
9		450,07	8	12068,15	11610	43 986	3570	-3 078	3300	-5 108
10		450,07	8	12068,15	11610	55 596	3132	54	2870	-2 238

A : Année ; RED : Redevance ; DOM : Domaniale ; ENTR : entretien ; REP : réparation.

Ce tableau permet de déduire les indicateurs suivants :

- **VAN** :

A la dixième année de la mise en service de la chaussée souple, on a :
 $VAN = 54 > 0$;

- **TRI** :

Pour un taux $i = 14\%$, **$VAN = 54$** ;

Pour un taux $i = 15\%$, **$VAN = -2 238$** .

Le TRI du projet s'obtient pour **$VAN = 0$** soit **$TRI = 14,02\% > 12\%$** .

D'où, le projet est rentable.

- **DRN** :

A la 5^{ème} année, **$CFBC = -2 455$** ;

A la 6^{ème} année, **$CFBC = 9 155$** .

Le DRN du projet s'obtient pour **$CFBC = 0$** . D'où, **$DRN = 5,21$** soit **5 ans 2 mois et 16 jours**

2. Chaussée rigide

La durée de vie estimée de la chaussée rigide est de 15 ans.

Les valeurs figurant dans le tableau ci-dessous sont multiples de 1 000 000,00 Ar.

Tableau 114: Calcul du TRI de la chaussée rigide

A	investiss ement	RED DOM	ENTR et REP	Recettes	CFB	CFBC	CFA (i = 17%)	CFAC ou VAN (i = 17%)	CFA (i = 18%)	CFA ou VAN (i = 18%)
0	60 768				-60 768	-60 768	-60 768	-60 768	-60 768	-60 768
1		450,07		12068,15	11618	-49 150	9930	-50 838	9846	-50 922
2		450,07	7,5	12068,15	11611	-37 539	8482	-42 356	8339	-42 584
3		450,07	7,5	12068,15	11611	-25 929	7249	-35 107	7067	-35 517
4		450,07	7,5	12068,15	11611	-14 318	6196	-28 911	5989	-29 528
5		450,07	7,5	12068,15	11611	-2 708	5296	-23 615	5075	-24 453
6		450,07	7,5	12068,15	11611	8 903	4526	-19 089	4301	-20 152
7		450,07	7,5	12068,15	11611	20 514	3869	-15 220	3645	-16 508
8		450,07	7,5	12068,15	11611	32 124	3306	-11 914	3089	-13 419
9		450,07	7,5	12068,15	11611	43 735	2826	-9 088	2618	-10 801
10		450,07	60	12068,15	11558	55 293	2405	-6 683	2208	-8 593
11		450,07	60	12068,15	11558	66 851	2055	-4 628	1871	-6 721
12		450,07	60	12068,15	11558	78 409	1757	-2 872	1586	-5 135
13		450,07	60	12068,15	11558	89 967	1501	-1 370	1344	-3 791
14		450,07	60	12068,15	11558	101 525	1283	-87	1139	-2 652
15		450,07	60	12068,15	11558	113 083	1097	1 009	965	-1 687

Ce tableau permet de déduire les indicateurs suivants :

- **VAN** :

A la quinzième année de la mise en service de la chaussée souple, on a :
VAN= 1 009 >0 ;

- **TRI** :

Pour un taux ***i= 17%***, **VAN= 1009 ;**

Pour un taux ***i= 18%***, **VAN= -1 687.**

Le TRI du projet s'obtient pour **VAN=0** soit **TRI= 17,37%>12%**.

D'où, le projet est nettement rentable.

- **DRN** :

A la 5^{ème} année, **CFBC= -2 708 ;**

A la 6^{ème} année, **CFBC= 8 903.**

Le DRN du projet s'obtient pour **CFBC=0**. D'où, **DRN= 5,23** soit **5 ans 2 mois et 24 jours.**

CONCLUSION PARTIELLE

Pour pouvoir effectuer le calcul de rentabilité, il est nécessaire de connaître le coût global du projet qu'on a déterminé dans le chapitre précédent.

Ensuite, le calcul des recettes aéronautiques qui a été effectué en considérant la recette liée à l'avion et celle liée à la cargaison. Ce calcul a permis d'obtenir une recette aéronautique annuelle de **12 068 149 050,08 Ar** dont **7 712 251 000 Ar** appartiennent à la première et **4 355 898 048,08 Ar TTC** correspondent à la seconde.

Après, les coûts d'entretien et la redevance domaniale sont pris en compte lors du calcul des charges.

Enfin, la connaissance des recettes et des charges a permis de calculer le TRI correspondant aux deux variantes de la chaussée et on a trouvé :

- TRI= 14,02% pour la chaussée souple avec un investissement de 60 512 419 490 Ar et une durée de vie de 10 ans ;
- TRI= 17,37% pour la chaussée rigide avec un investissement de 60 767 942 040 Ar et une durée de vie de 15 ans.

Ces taux sont supérieurs au taux d'escompte bancaire qui est de 12% et de ce fait on peut dire que le projet est nettement rentable.

En conclusion, si le projet est nettement rentable, l'étude d'impacts environnementaux sera au chapitre suivant

Chapitre III : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Dans le domaine aéroportuaire, les préoccupations environnementales sont prises en compte dès la phase de planification de l'Avant Projet de Plan de Masse (APPM).

Tout d'abord, les nuisances sonores dues à l'exploitation aéroportuaire sont traitées par une étude de gêne sonore ; quand aux autres thèmes environnementaux tels que l'eau, l'air, ou les déchets, ils font l'objet d'un état initial et d'une analyse des impacts du projet de planification dans l'étude d'environnement de l'APPM.

Ce volet environnement des APPM a été créé par la Circulaire 1870 SBA/6 du 8 Mai 1979. Celle-ci s'inscrit dans la logique de la Loi n° 76629 du 10 Juillet 1976 modifiée relative à la protection de la nature, qui a instauré les études d'impact.

En dehors de l'aspect planification, les aéroports sont concernés par plusieurs réglementations en matière d'environnement.

Ces textes ont permis la mise en œuvre d'outils réglementaires permettant d'assurer un suivi de l'infrastructure du point de vue de l'environnement, mais également de protéger les milieux naturels et les riverains au voisinage des aéroports.

Exemple : on peut citer les plans d'exposition au bruit concernant la gêne sonore ou les arrêtés d'autorisation « loi sur l'eau » concernant les rejets d'eaux pluviales ou les surfaces imperméabilisées de l'aéroport.

Dans les paragraphes suivants, on va décrire, thème par thème, les problématiques et les enjeux environnementaux à prendre en compte dans le cadre du fonctionnement ou du développement des infrastructures aéroportuaires.

I- ATTEINTES AUX MILIEUX NATURELS

La construction ou l'extension d'un aéroport peut induire la destruction partielle ou totale de milieux naturels, et ainsi aboutir à « l'artificialisation » (substitution de surfaces imperméabilisées à des espèces naturelles au sens large) et à la banalisation des biotopes concernés.

La réglementation française a prévu des dispositions dans le but de protéger ces milieux.

Ces mesures n'induisent cependant pas des contraintes de même nature :

- certaines sont fortes (arrêtés de biotope, sites classés, zones de protection spéciale),
- d'autres le sont moins (zones naturelles d'intérêt écologique faunistique et floristique).

Le recensement de ces dispositifs de protection constitue une étape primordiale de l'analyse environnementale.

Le projeteur pourra s'appuyer sur ce recensement, ainsi que sur d'éventuelles études complémentaires, afin de déterminer si les espaces naturels concernés ne présentent pas d'enjeux environnementaux forts, auxquels cas la logique d'évitement prévaudra.

Cependant, si les considérations techniques, financières ou autres impliquent effectivement la destruction partielle ou totale de biotopes, le projeteur devra mettre en œuvre des mesures visant à compenser, à atténuer ou à limiter les effets du projet sur les milieux naturels.

Dans ce cadre, une attention toute particulière sera portée aux zones humides, éléments de patrimoine naturel, dont une définition est donnée par la Loi sur l'eau du 3 Janvier 1992.

L'Article 2, codifié à l'article L 211-1 du Code de l'environnement, de la Loi présente les objectifs d'une gestion équilibrée de l'eau dont notamment :

- la préservation des écosystèmes aquatiques, des sites et des zones humides. On entend par zone humide les terrains, exploités ou non, habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire ;
- la végétation, quand elle existe, y est dominée par des plantes hygrophiles pendant au moins une partie de l'année.

II- IMPACTS SUR L'OCCUPATION DU SOL

L'implantation ou le développement d'un aéroport peut engendrer des contraintes sur des espaces, bâtis ou non, voués à d'autres usages (parc d'habitation, parc d'activités, terrains agricoles, éléments patrimoniaux).

De plus, les Plans d'Exposition au Bruit (PEB), les Plans de Servitudes Aéronautiques (PSA) et les Plans de Servitudes Radioélectriques (PSR) ont un impact fort sur l'urbanisme.

Le projeteur devra donc veiller à ce que le projet aéroportuaire soit compatible avec les documents d'urbanisme et les politiques mises en œuvre dans le périmètre d'étude.

III- IMPACTS LIES A LA DESSERTE DE L'AERODROME

Les aérodromes doivent être munis de voies d'accès adéquates. Celles-ci, qu'elles soient ferroviaires ou routières peuvent avoir des effets importants sur l'environnement (effet de coupure notamment).

Dans sa démarche d'aménagement, le projeteur cherchera à intégrer les dessertes dans l'environnement.

IV- IMPACT VISUEL

En général, l'intégration d'un aéroport dans le paysage ne pose pas de problèmes particuliers.

Les infrastructures aéroportuaires sont conventionnellement implantées sur des terrains plats et dégagés. Elles sont donc peu visibles sauf à très faible distance, et ne peuvent être vues depuis des sites dominants qu'à une grande distance.

Dans le cas de travaux importants, notamment en cas de terrassement, le projeteur veillera simplement à replanter convenablement les terrains mis à nus.

Pour les installations terminales, on rencontre deux cas :

- les grands aéroports conçus par tranches importantes, avec l'aide d'architectes, et présentant souvent des aspects esthétiques de qualité et une bonne homogénéité de conception ;
- les petits aéroports, où les opérations sont rares et ponctuelles ; il s'avère alors indispensable de définir un canevas type de prescriptions architecturales qui devront être imposées à tout projet de construction ultérieur.

V- BRUIT ENGENDRE PAR LES AEROPORTS

Le bruit représente pour les riverains d'aérodromes, la nuisance aéronautique la plus importante et la plus immédiatement perceptible.

1. Bruit des aéronefs

Le bruit émis par les aéronefs en vol provient essentiellement de deux phénomènes :

- ↳ le bruit émis par les groupes motopropulseurs : les moteurs et les hélices. Ce bruit dépend principalement du régime de fonctionnement des moteurs ;
- ↳ le bruit aérodynamique dû aux turbulences aérodynamiques créées autour de l'aéronef : les volets, les trains d'atterrissage, le fuselage. Ce bruit est directement lié à la vitesse de l'aéronef.

Le bruit émis par les aéronefs au sol provient principalement des groupes auxiliaires de puissance (aéronefs en stationnement) ou des groupes motopropulseurs (roulage, essais moteurs).

2. Indice Lden

L'indice *Lden* (*Level day evening night*) a été adopté par le Décret n° 2002-626 du 26 Avril 2002 (Journal Officiel du 28 Avril 2002). Ce nouvel indice prend en compte les périodes de jour, soirée et nuit. Il remplace l'Indice Psophique (IP) à compter du 1^{er} Novembre 2002.

L'indice *Lden* représente le niveau d'exposition totale au bruit des avions en chaque point de l'environnement d'un aéroport. Il s'exprime en décibels (dB) et est calculé à l'aide de la formule suivante :

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left[12 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right]$$

Avec :

L_d : niveau sonore moyen à long terme pondéré A qui est défini dans ISO 1996-2. Il est déterminé sur l'ensemble des périodes de jour d'une année. La période de jour s'étend de 6 heures à 18 heures,

L_e : niveau sonore moyen à long terme pondéré A' qui est défini dans ISO 1996-2. Il est déterminé sur l'ensemble des périodes de soirée d'une année. La période de soirée s'étend de 18 heures à 22 heures,

L_n : niveau sonore moyen à long terme pondéré A'' qui est défini dans ISO 1996-2. Il est déterminé sur l'ensemble des périodes de nuit d'une année. La période de nuit s'étend de 22 heures à 6 heures le lendemain.

Au voisinage d'un aéroport, l'indice *Lden* est évalué sur une journée moyenne de trafic. Il n'a pas pour but de décrire un événement particulier, mais de caractériser l'exposition au bruit au voisinage de l'aéroport dû à l'ensemble du trafic de cette journée moyenne.

La journée est découpée en une période de jour (6 h-18 h), une période de soirée (18 h-22 h) et une période de nuit (22 h-6 h).

Le niveau sonore moyen de la soirée est pénalisé de 5 dB (A'), et celui de la nuit de 10 dB (A''). Du point de vue acoustique, cela revient à considérer qu'un vol de soirée équivaut à 3,16 vols de jour, et qu'un vol de nuit équivaut à 10 vols de jour.

L'horizon de l'étude et la journée moyenne étant définis, les données nécessaires au calcul des courbes en indice *Lden* sont :

- l'infrastructure aéroportuaire (les pistes) ;
- les procédures aériennes (les trajectoires) ;
- les types d'aéronefs fréquentant l'aéroport ;
- pour chaque couple (type d'aéronef *i* ; trajectoire *j*) : le nombre de mouvements de jour, soirée et nuit, pendant la journée moyenne, du type d'aéronef *i* qui emprunte la trajectoire *j* (un mouvement est soit un atterrissage, soit un décollage.)

L'indice *Lden* est calculé grâce à un programme informatique intégrant les lois de propagation et d'absorption du bruit dans l'air et utilisant une base de données acoustiques des aéronefs, ainsi qu'une base de données de performances de vol de ces aéronefs.

Le modèle évalue l'indice *Lden* en un grand nombre discret de points au voisinage de l'aérodrome, et détermine par interpolation les courbes d'égal indice *Lden*.

La réglementation française définit deux documents réglementaires sur lesquels sont portées les courbes d'égal indice *Lden* dans le but :

- d'éviter une urbanisation incompatible avec les nuisances sonores dues à l'exploitation de l'aérodrome. C'est l'objet du Plan d'Exposition au Bruit (PEB) ;
- et d'aider les riverains soumis à la gêne sonore à insonoriser leur logement. C'est l'objet du Plan de Gêne Sonore (PGS).

3. Plan d'exposition au bruit

La loi du 11 Juillet 1985 relative à l'urbanisme au voisinage des aérodromes fixe les règles d'urbanisme applicables dans les différentes zones de bruit.

Cette loi confirme l'objectif d'intérêt national de maîtrise de l'urbanisme autour des aérodromes. Elle permet d'intégrer dans les plans locaux d'urbanisme ou dans les plans d'occupation des sols (les PLU ou les POS), les règles spécifiques aux zones de bruit du plan d'exposition au bruit approuvé et, même en l'absence de PLU ou de POS, de protéger le site par l'intermédiaire de l'octroi des permis de construire.

Le plan d'exposition au bruit doit prendre en compte l'ensemble des hypothèses à court, moyen et long terme de développement de l'aérodrome concerné.

Les différentes zones de bruit d'un plan d'exposition au bruit sont les suivantes :

- ✓ la zone de bruit fort, A, est la zone comprise à l'intérieur de la courbe d'indice *Lden* égale à 70 ;
- ✓ la zone de bruit fort, B, est la zone comprise entre la courbe d'indice *Lden* égale à 70 et la courbe d'indice *Lden* égale à 62. Toutefois, pour les aérodromes mis en service avant le 28 Avril 2002, la valeur de l'indice servant à la délimitation de la limite extérieure de la zone B, peut être choisie entre 65 et 62 ;
- ✓ la zone de bruit modéré, C, est la zone comprise entre la limite extérieure de la zone B et la courbe correspondant à une valeur de l'indice *Lden* choisie entre 57 et 55 ;
- ✓ la zone D est la zone comprise entre la limite extérieure de la zone C et la courbe d'indice *Lden* égale à 50.

Depuis la Loi n° 99-588 du 12 juillet 1999 portant création de l'Autorité de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires (ACNUSA) les plans d'exposition au bruit peuvent délimiter une quatrième zone, dite zone D, à l'intérieur de laquelle les constructions sont autorisées mais doivent faire l'objet des mesures d'isolation acoustique prévues à l'Article L.147-6 du code de l'urbanisme.

La délimitation d'une zone D est obligatoire pour les aérodromes accueillant du trafic public, sur lesquels le nombre annuel des mouvements d'aéronefs de masse maximale au décollage de plus de 20 tonnes est supérieur à 20 000.

La réglementation prévoit également une procédure d'élaboration tournée vers le public : consultation des Communes, de la commission consultative de l'environnement et procédure d'enquête publique (Décret n° 87-339 du 21 Mai 1987).

La commission consultative de l'environnement, lorsqu'elle existe, est consultée par le Préfet de département sur les valeurs de l'indice *Lden* à prendre en compte pour déterminer la limite extérieure de la zone C et, le cas échéant, celle de la zone B, avant qu'intervienne la décision d'établir ou de réviser un plan d'exposition au bruit.

C'est le Préfet qui approuve le plan par arrêté préfectoral (Décret n° 87-340 du 21 Mai 1987). Une fois la procédure achevée par l'approbation du plan d'exposition au bruit, celui-ci est annexé au PLU (ou au POS), au plan de sauvegarde et de mise en valeur et à la carte communale des communes concernées.

Les dispositions de ces documents doivent être compatibles avec les prescriptions d'urbanisme relatives aux différentes zones du PEB, présentées dans le tableau.

4. Plan de gêne sonore

La Loi « bruit » du 31 Décembre 1992 instaure un dispositif d'aide aux riverains tenant compte de l'importance de la gêne ressentie par les riverains et de l'habitat concerné par les Plans de Gêne Sonore (PGS).

Ce dispositif est limité aux aérodromes accueillant du trafic public, sur lesquels le nombre annuel des mouvements d'aéronefs de masse maximale au décollage de plus de 20 tonnes est supérieur à 20 000.

L'aide aux riverains est réservée aux propriétaires des logements situés dans l'emprise d'un PGS approuvé par le Préfet de département. Le PGS est établi par les services de la Direction générale de l'aviation civile sur la base du trafic estimé, des procédures de circulation aérienne applicables et des infrastructures qui seront en service dans l'année suivant la date d'approbation du plan de gêne sonore.

Le PGS n'est approuvé qu'après consultation de la Commission Consultative de l'Environnement (CCE) et des Communes concernées. Il comprend trois zones :

- une zone I comprise à l'intérieur de la courbe d'indice *Lden* égale à 70 ;
- une zone II comprise entre la courbe d'indice *Lden* égal à 70 et la courbe d'indice *Lden* égale à 65. Toutefois, dans le cas où la courbe extérieure de la zone B du PEB approuvé sur l'aérodrome est fixée à une valeur d'indice *Lden* inférieure à 65, cette valeur est retenue pour le plan de gêne sonore ;
- une zone III comprise entre la limite extérieure de la zone II et la courbe d'indice *Lden* égale à 55.

Le PGS est mis en révision par le Préfet dès qu'un changement d'hypothèses de trafic substantiel est constaté par la CCE (modification d'une procédure, de l'importance ou de la composition du trafic).

L'ACNUSA est consultée sur le projet de PGS et peut recommander sa révision si elle l'estime nécessaire.

Les logements concernés par l'aide sont les logements situés en tout ou partie dans les zones I, II ou III du PGS approuvé et hors de l'emprise du PEB en vigueur à la date de l'autorisation de construire et de la dernière mutation à titre onéreux.

Le détail des travaux d'insonorisation des logements (Arrêté du 15 Mai 1997) est précisé dans le tableau ci-dessus.

Cette aide aux riverains est accordée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), qui est chargée de gérer la part relative au bruit des aéronefs de la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP).

La TGAP, affectée au budget de l'État, inclut également la taxe sur les déchets, la taxe sur la pollution atmosphérique et la taxe sur les lubrifiants et huiles générant des huiles usagées.

Tableau 115: Règles d'urbanisme applicable dans les différentes zones de bruit

Règles d'urbanisme applicables dans les différentes zones de bruit (loi du 11 juillet 1985)				
Prescriptions d'urbanisme				
Projets d'urbanisme	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
Constructions nouvelles				Autorisés sous réserve d'isolation
Logements nécessaires à l'activité de l'aérodrome, hôtels de voyageurs en transit	autorisés	autorisés	autorisés	
Logements de fonction nécessaires aux activités industrielles ou commerciales	autorisés dans les secteurs déjà urbanisés	autorisés	autorisés	
Immeubles d'habitation directement liés ou nécessaires à l'activité agricole	autorisés dans les secteurs déjà urbanisés	autorisés	autorisés	
Immeubles collectifs à usage d'habitation	non autorisés	non autorisés	autorisés si réduction, dans un délai maximum d'un an, de la capacité d'accueil d'habitants dans les constructions existantes situées dans la même zone	
Habitat groupés parcs résidentiels de loisirs	non autorisés	non autorisés	non autorisés	
Maisons d'habitation individuelle	non autorisés	non autorisés	autorisées si secteur d'accueil déjà urbanisé et desservi par équipements publics si n'entraînent qu'un faible accroissement de la capacité d'accueil	
Constructions à usage industriel, commercial et agricole	admissibles si elles ne risquent pas d'entraîner l'implantation de population permanente	admissibles si elles ne risquent pas d'entraîner l'implantation de population permanente	admissibles si elles ne risquent pas d'entraîner l'implantation de population permanente	
Équipements de superstructures nécessaires à l'activité aéronautique	autorisés s'ils ne peuvent être localisés ailleurs	autorisés s'ils ne peuvent être localisés ailleurs	autorisés	
Équipements publics	autorisés s'ils sont indispensables aux populations existantes et s'ils ne peuvent être localisés ailleurs	autorisés s'ils sont indispensables aux populations existantes et s'ils ne peuvent être localisés ailleurs	autorisés s'ils sont indispensables aux populations existantes et s'ils ne peuvent être localisés ailleurs	
Opérations de rénovation des quartiers ou de réhabilitation de l'habitat existant	autorisés sous réserve de ne pas accroître la capacité d'accueil	autorisés sous réserve de ne pas accroître la capacité d'accueil	idem A et autorisées si secteur d'accueil déjà urbanisé et desservi par équipements publics sous réserve d'un faible accroissement de la capacité d'accueil	
Amélioration et extension mesurée ou reconstruction des constructions existantes	autorisé s'il n'y a pas d'accroissement assimilable à la construction d'un nouveau logement	autorisé s'il n'y a pas d'accroissement assimilable à la construction d'un nouveau logement	idem A et autorisées si secteur d'accueil déjà urbanisé et desservi par équipements publics sous réserve d'un faible accroissement de la capacité d'accueil	

VI- IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR

La pollution atmosphérique liée à l'exploitation d'un aéroport est le fait des multiples activités qui y sont exercées, et donc du nombre important de sources d'émissions polluantes qu'elles induisent.

On distingue les sources d'émissions fixes comme les centrales thermiques ou les bancs d'essai réacteurs, et les sources d'émissions mobiles comme les voitures et les avions.

Le tableau résume les principaux polluants rencontrés sur une plate-forme, leurs sources et leurs effets sur la santé.

L'ozone (O₃) est un polluant secondaire issu des réactions photochimiques initiées essentiellement par les oxydes d'azotes et les hydrocarbures. Il est à l'origine de brouillards photochimiques à l'échelle locale ou régionale.

Certains des polluants décrits dans le tableau ont aussi une action à l'échelle planétaire. Toutefois, lorsque l'on aborde cette problématique, il faut distinguer les sources au sol et les avions, ces derniers étant les seuls émetteurs dans les couches supérieures de l'atmosphère.

Concernant les émissions des sources au sol, celles-ci peuvent réagir dans les basses couches de l'atmosphère avant d'atteindre les couches supérieures.

La destruction de l'ozone stratosphérique ou la formation d'ozone troposphérique font intervenir le dioxyde d'azote (NO₂), mais également d'autres espèces comme les particules. L'effet de serre quant à lui est principalement dû aux molécules d'eau et de dioxyde de carbone.

Le projeteur dispose maintenant d'outils pour estimer les émissions de polluants sur les aéroports. Il devra cependant vérifier que leurs concentrations ne dépassent pas les valeurs réglementaires. Celles-ci sont notamment fixées par le Décret n° 2002-213 du 15 Février 2002, modifiant le Décret n°98-360 du 6 Mai 1998, relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.

Remarque :

Les délestages de carburant sont des événements exceptionnels, qui sont effectués uniquement dans des circonstances où la sécurité des passagers exige un allègement de la masse de l'appareil pour l'atterrissage.

Selon les recommandations de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), la vidange de carburant, lorsqu'elle est nécessaire, doit être effectuée à une altitude minimale de 2 000 mètres (niveau de vol : 60) et à une vitesse comprise entre 400 et 500 km/h afin d'obtenir des conditions de vaporisation optimales.

Lors d'une opération de délestage, 90 % du carburant s'évapore. Les Composés Organiques Volatils (COV) issus de l'évaporation subissent des processus photochimiques

produisant de la vapeur d'eau et du dioxyde de carbone. Le délestage étant effectué au dessus de 200 mètres, ces composés sont transformés avant d'atteindre la couche atmosphérique proche du sol, appelée couche limite.

Les 10 % de carburant restant s'évaporent en grande partie au contact du sol, le reste subissant une dégradation biologique partielle.

En fin de compte la quantité de carburant atteignant le sol, de manière effective, est de quelques milligrammes par mètre carré. Ces quantités sont sans commune mesure avec celles qui peuvent entraîner une intoxication aiguë.

Tableau 116: Impact sur la santé des polluants présents sur une plate-forme

Impact sur la santé des polluants présents sur une plate-forme													
Espèce polluante	Origine											Effets sur la santé	
	Trafic aérien	Groupe électrogène	Maintenance des moteurs	Véhicules de services	Transport de personnel/fret	Centrale électrique au gaz	Centrale électrique au fioul	Centrale électrique au charbon	Avitaillement	Stockage de carburant	Dégivrage		Atelier de peinture
NO _x (oxydes d'azote)	?	?	?	?	?	?	?	?					Irritations, diminution possible des défenses immunitaires et accroissement de la sensibilité des bronches aux infections microbiennes.
SO ₂ (dioxydes de soufre)	?	?	?	?	?		?	?					Irritations des muqueuses des voies aériennes, accroissement des pathologies respiratoires.
CO (monoxyde de carbone)	?	?	?	?	?	?	?	?					Prend la place de l'oxygène pour se combiner à l'hémoglobine du sang, ce qui conduit à une hypoxie tissulaire, cérébrale et cardiaque.
HC (hydrocarbures)	?	?	?	?	?	?	?	?					Irritations des yeux, toux, action cancérigène augmentée par les poussières qui absorbent les hydrocarbures et les déposent dans l'appareil respiratoire.
Plomb				?	?								
Fumées	?			?	?		?	?					Transport des polluants jusqu'aux alvéoles pulmonaires, attaque des muqueuses nasales, augmentation de la sensibilité aux infections pulmonaires.
Composés organiques volatils									?	?	?	?	

VII-IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX

Dans le cadre de son fonctionnement, une plate-forme consomme de l'eau potable et de l'eau industrielle qu'elle rejette sous forme d'eaux usées. Un aéroport est constitué d'importantes surfaces imperméabilisées. Celles-ci sont à l'origine d'eaux de ruissellement qu'il faut évacuer.

- ✘ La consommation d'eau (eau potable et eaux industrielles) d'un aéroport est fonction de son activité.

D'une manière générale, les plateformes civiles sont raccordées au réseau public d'Adduction d'Eau Potable (AEP). Les besoins de l'aéroport doivent donc être pris en compte dans une démarche de gestion de la ressource en eau.

- ✘ Les eaux usées sont dirigées vers des dispositifs de traitement qui peuvent être autonomes (fosses septiques) ou collectifs (stations d'épuration).

Lorsque les aéroports sont connectés au réseau public, les eaux usées traitées sont généralement rejetées vers le milieu naturel.

Le projeteur devra intégrer dans ses projets les besoins futurs de la plate-forme en matière d'assainissement, notamment en ce qui concerne la quantité d'effluents à traiter.

- ✘ En ce qui concerne les eaux pluviales, on distinguera trois types de pollution :

- la pollution chronique : elle est due au fonctionnement de l'aéroport.

Elle est accentuée, en termes de charge de pollution, par le développement des surfaces imperméabilisées et des activités aéroportuaires. La pollution chronique est le fait :

- des gaz d'échappement des avions et des véhicules de services ;
- des détergents qui sont utilisés pour les opérations de maintenance (nettoyage, réparation) ;
- des carburants et huiles répandues lors des opérations d'avitaillement ;
- des mousses synthétiques utilisées à l'occasion d'exercices d'incendie ;
- des traces de gommes laissées par les pneus des avions lors d'atterrissages ou de manœuvres ;

- la pollution saisonnière :

Ce sont les activités de viabilité hivernale qui en sont à l'origine :

- les opérations de dégivrage des avions qui nécessitent l'utilisation de glycol, produit présentant une biodégradabilité élevée ;
- le déverglaçage des pistes, aires de stationnement et de mouvements, qui est effectué grâce à l'utilisation d'acétates et plus rarement d'urée ;
- l'entretien des dépendances vertes qui est effectué par pulvérisation de produits phytosanitaires ;

- la pollution accidentelle :

Elle survient à la suite du déversement accidentel de matières dangereuses. Sa gravité dépend de la nature des produits, des quantités déversées et de la ressource en eau susceptible d'être affectée.

Ce type de pollution est par définition difficilement maîtrisable, on optera pour des mesures préventives telles que l'implantation de bassins de retenue.

Les quantités d'eaux de ruissellement à évacuer sur un aéroport peuvent être importantes. Le projeteur doit assurer l'évacuation de ces eaux de ruissellement sans aggraver les risques d'inondation en aval. Il veillera également à ne pas altérer la qualité du milieu naturel dans lequel s'effectuent les rejets.

VIII- GESTION DES DECHETS

Un aéroport génère de nombreux déchets dont certains nécessitent un traitement spécial en raison des dangers qu'ils présentent pour la santé ou l'environnement.

Afin que la gestion des déchets soit cohérente et efficace, le projeteur peut mettre en œuvre une réflexion stratégique dès le stade de la planification. Celle-ci se base sur l'analyse de la nature, de l'origine et des quantités de déchets produits.

Notons que le projeteur devra prévoir des zones de stockage conformes à la réglementation (Loi n°75-633 du 15 Juillet 1975 modifiée) et vérifier que les filières de traitement sont adaptées aux déchets.

IX- PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT

Les effets d'un projet aéroportuaire sur l'environnement doivent être pris en compte le plus en amont possible de la phase de réalisation, mais également durant toute l'évolution de ce projet.

Cela constitue l'une des préoccupations majeures des textes de loi qui, afin d'intégrer cette dimension environnementale, ont mis en place un certain nombre d'outils réglementaires :

- pendant la démarche de planification aéroportuaire, grâce aux études d'environnement de l'Avant Projet de Plan de Masse (APPM) mises en place par la Circulaire 1870 DBA/6 du 8 Mai 1979 ;
- lors de l'Avant Projet Sommaire (APS) au travers des études d'impact, introduites par loi n° 76-629 du 10 juillet 1976 modifiée relative à la protection de la nature, qui a instauré les études d'impact dont le contenu est précisé par le Décret du 12 Octobre 1977 ;
- dans le domaine de la qualité de l'air, une procédure identique a été introduite par la Loi n° 96-1236 du 30 Décembre 1996 sur L'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (LAURE), transcription dans le droit français de la directive cadre du 27 Septembre 1996 relative à la gestion et à l'évaluation de la qualité de l'air ambiant. C'est la Circulaire n°98-36 du 17 Février 1998 relative à l'application de l'Article 19, codifiée par les Articles L 122-1 - L 122-3 du Code de l'environnement, de la Loi sur l'Air et

l'Utilisation Rationnelle de l'Energie, qui complète le contenu de l'étude d'impacts des projets d'aménagement en matière de qualité de l'air ;

- lors d'études liées à l'application de la Loi du 3 Janvier 1992 dite loi sur l'eau. En effet, un projet aéroportuaire peut entrer dans le cadre d'une ou de plusieurs rubriques du Décret nomenclature n° 93-743 du 29 Mars 1993. Dans ce cas, il peut être soumis à une procédure d'autorisation ou de déclaration au titre de la loi sur l'eau, décrite par le Décret n° 93-742 du 29 Mars 1993. Du point de vue de la procédure d'autorisation, les aérodromes peuvent être concernés par les rubriques présentées dans le document ci-dessus ;
- la plupart des documents réglementaires ayant pour objectif la protection de l'environnement (étude d'impact, autorisation loi sur l'eau...) sont ou peuvent entrer dans le cadre d'une enquête publique. Cette procédure vise à informer le public et à recueillir son avis préalablement à certaines décisions ou opérations d'aménagement. Il existe deux types d'enquête :
 - l'enquête publique de droit commun est préalable à la Déclaration d'Utilité Publique (DUP). Elle est diligentée par les Articles R 11-4 à 14 du Code de l'expropriation. Le Plan de Servitude Aéronautique (PSA) par exemple, est précédé d'une enquête de ce type ;
 - l'enquête publique de type « Bouchardeau », instaurée par la Loi n°86-630 du 12 Juillet 1983 modifiée, concerne principalement les opérations susceptibles d'avoir un impact sur l'environnement. Le Décret n° 85-453 du 23 Avril 1985 modifié liste les projets soumis à ce type d'enquête, réglementée par les Articles R 11-14-1 à 15 du Code de l'expropriation. Le Plan d'Exposition au Bruit (P.E.B.) est soumis à enquête de type « Bouchardeau ». Si un projet est soumis aux deux types d'enquêtes, c'est l'enquête publique de type « Bouchardeau », plus contraignante que l'enquête de droit commun, qui prévaut et peut donner lieu à une DUP ;
- enfin, depuis 1995, un autre dispositif de concertation sur la base d'opérations d'enjeu national a été mis en place : le débat public. Cette procédure a été créée par la Loi n° 95-101 du 2 Février 1995 modifiée relative au renforcement de la protection de l'environnement. Ce sont les décrets n°96-388 du 10 Mai 1996 modifié et n°84-617 du 17 Juillet 1984 qui déterminent quels types de projets aéroportuaires sont concernés par la procédure de débat public.

CONCLUSION PARTIEL

Bien que plusieurs documents puissent constituer le support de l'évaluation environnementale d'un projet, celle-ci repose toujours sur les mêmes principes.

En premier lieu, le projeteur devra effectuer une analyse de l'état initial.

Dans un second temps, il devra inventorier les effets directs et indirects, temporaires ou permanents du projet aéroportuaire sur l'environnement.

Enfin, le processus de planification doit être le cadre d'une concertation efficace. Celle-ci permettra de mieux identifier les besoins des futurs utilisateurs de l'aérodrome, mais également de clarifier les préoccupations des riverains quant à l'évolution de leur qualité de vie à la suite de la mise en œuvre du projet.

CONCLUSION

Mémoire de fin d'études : CONCLUSION GENERAL

Le présent mémoire concerne essentiellement l'aménagement de l'aérodrome militaire d'ANDRAKAKA en aérodrome international.

En effet, l'introduction de l'airbus A380 conduit à renforcer la piste d'envol, la voie de circulation, l'aire de stationnement et à créer une nouvelle chaussée de prolongement.

L'Airbus A380 peut fréquenter l'aérodrome d'ANDRAKAKA à condition de réaliser les travaux suivants :

- ✓ Renforcement de 5 cm d'épaisseur en Béton Bitumineux, 16 cm de Grave Bitume et 5 cm de Grave Concassée Non Traitée, ajoutée de 34 cm sur les 15 m de surlargeur de la piste d'envol en chaussée souple ;
- ✓ Renforcement de 5 cm d'épaisseur en Béton Bitumineux, 15 cm de Grave Bitume et 34 cm sur les 15 m de surlargeur de la piste d'envol en chaussée rigide ;
- ✓ Renforcement de 5 cm d'épaisseur en Béton Bitumineux, 16 cm de Grave Bitume et 36 cm de Grave Concassée Non Traitée pour les 500 m suivant la longueur et 50 suivant la largeur de l'aire de stationnement ;
- ✓ Renforcement de 5 cm d'épaisseur en Béton Bitumineux et 15 cm de Grave Bitume de la voie de circulation ;
- ✓ Prolongement de la piste d'envol d'une longueur de 1110 m dont 610 m à partir du seuil 13 et 500 m à partir du seuil 31. A l'issue de ce prolongement, la longueur totale de la piste atteint 3 610 m.

Après avoir vérifiées les contraintes au niveau des différentes couches de la structure de la chaussée par la méthode de JONES et PEATES, on a pu trouver les nouvelles PCN suivants :

- PCN=73/F/B/X/T pour la piste en chaussée souple renforcée ;
- PCN=161/R/B/X/T pour la piste en chaussée rigide renforcée ;
- PCN=71/F/B/X/T pour la voie de circulation renforcée ;
- PCN=70/F/B/X/T pour l'aire de stationnement renforcée ;
- PCN=89/F/C/X/T pour la chaussée souple à prolonger au seuil 13 ;
- PCN=75/F/B/X/T pour la chaussée souple à prolonger au seuil 31 ;
- PCN=94/R/C/X/T pour la chaussée rigide à prolonger au seuil 13 ;
- PCN=99/R/B/X/T pour la chaussée rigide à prolonger au seuil 31 ;

D'après l'évaluation des coûts de travaux, la première variante correspondant au prolongement en chaussée souple coûte moins chère que la première variante construite en chaussée rigide. Le coût de la première variante atteint **60 512 419 490 Ar TTC** tandis que celui de la seconde s'élève à **60 767 942 040 Ar TTC**.

L'investissement est énorme, mais grâce aux recettes liées aux avions et à la cargaison, on a néanmoins trouvé des taux de rentabilité :

- TRI=17,52% pour la chaussée souple ayant une durée de vie de 10 ans ;
- TRI=17,40% pour la chaussée rigide correspondant à une durée de vie de 10 ans.

Mémoire de fin d'études : CONCLUSION GENERAL

Ces deux taux sont largement supérieurs au taux d'escompte bancaire et de ce fait, le projet est nettement rentable. Le capital investi sera récupéré après 4 ans 6 mois 26 jours de mise en service de la chaussée pour la première et 4 ans 7 mois 2 jours pour la seconde variante en chaussée rigide.

Pour conclure, les secteurs tourisme et transport aérien sont des secteurs interdépendants ; la plupart des visiteurs étrangers viennent dans notre pays par voie aérienne. D'où, l'amélioration du secteur touristique implique une augmentation de la capacité du transport aérien. D'ailleurs, vues les caractéristiques insulaires de Madagascar et ses biodiversités, il dispose d'une énorme potentialité touristique qui mérite d'être développée. Ce qui assure la nécessité de mise en œuvre de nouvel aéroport international.

En bref, ce mémoire m'a permis d'approfondir les connaissances acquises en classe et dans les stages.

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. M.BACHELEZ, MARY et RIMATEI :
Dimensionnement des chaussées d'aérodrome
6. M.GOUDENECHÉ, MAREC et PAUFIQUE :
Construction des chaussées aéroportuaires
7. S.T.B.A (Service Technique des Bases Aériennes) :
Aires de stationnement ; 1991.
8. S.T.B.A (Service Technique des Bases Aériennes) :
La méthode ACN- PCN ; 1988.
9. O.A.C.I (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) :
Normes et pratiques recommandées internationales d'aérodrome.
10. I.T.A.C (Instructions Techniques sur les Aérodrômes Civils) :
Normes sur les aérodrômes civils
11. RAKOTOARISON Pierre Donat :
Cours des chaussées rigides BTP 5 ESPA (Année 2009).
12. RALAIARISON Moïse :
Cours de Management de construction BTP 5 ESPA (Année 2010)
13. ANDRIANIAINA Jean Germain :
Cours d'aérodrome BTP 5 ESPA (Année 2009)
14. ENCYCLOPEDIE DES BATIMENTS ET DES TRAVAUX PUBLICS :
Tome 1 ; 2 ; 3.
15. DOSSIERS ADEMA
16. DOSSIERS LNTPB.
17. DOSSIER ACM
18. DOOSIER AIRMAD.
19. SITE INTERNET.

LISTE DES ANNEXES

- A- LES ELEMENTS D'UN AERODROME
 - I- FRONT DES INSTALLATIONS ET ZONES TERMINALES PASSAGERS
 - II- CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA PERIPHERIQUE DE LA PISTE
 - III- LES AIDES VISUELLES
- B- LES ABAQUES
 - I- ABAQUES RELATIFS AUX AERONEFS (ABAQUE DE DIMENSIONNEMENT)
 - II- ABAQUE POUR LES CHAUSSEES RIGIDES
 - III- ABAQUE DE JONES ET PEATIES
 - IV- ABAQUES PARTICIPANT AU CALCUL FORFAITAIRE DU PCN
- C- SOUS-DETAIL DE PRIX
- D- PLAN
 - I- VUE GLOBAL DU PROJET
 - II- VUE EN PLAN ET STRUCTURE DU SEUIL 13
 - III- VUE EN PLAN ET STRUCTURE DU SEUIL 31
 - IV- VUE EN PLAN ET STRUCTURES DE LA VOIE DE CIRCULATION ET DE L'AIRE DE STATIONNEMENT
 - V- VUE EN PLAN DE LA PERIPHERIQUE DE LA PISTE

ANNEXES

A- LES ELEMENTS D'UN AERODROME

I- FRONT DES INSTALLATIONS ET ZONES TERMINALES PASSAGERS

1. Front des installations

Le front des installations désigne la limite par rapport à la piste en deçà de laquelle aucun bâtiment ne devra être implanté.

Son but est de préserver le déplacement et le stationnement des avions, en nombre et en encombrement, prévus à terme du développement de l'aéroport.

La figure récapitule la façon dont est déterminé le front des installations par rapport à un axe de piste.

La distance minimale à respecter entre le front des installations et l'axe de piste est la somme de :

- la distance minimale a qui sépare l'axe de la piste de celui de la voie de desserte ;
- la demi-largeur b de la bande dégagée de cette voie de desserte ;
- la profondeur minimale c de l'aire de stationnement prenant en compte l'avion critique en stationnement ;
- la largeur d de la route de service.

Ces valeurs sont données dans le tableau en fonction des codes lettre et chiffre pour différents avions critiques. Selon l'aéroport, il devra être tenu compte de la présence d'une (des) voie(s) de relation éventuelle(s).

Ce front des installations devra aussi tenir compte d'autres contraintes telles que :

- les servitudes aéronautiques qui peuvent percer certains objets, dont notamment les dérives des avions en stationnement ainsi que certains bâtiments ;
- les servitudes engendrées par des équipements radioélectriques VOR (VHF *Omnidirectional Radiorange*) et ILS (*Instruments landing system*) notamment.

De plus, il convient de signaler, sur les plus grands aéroports notamment, où les bâtiments ne se développent pas toujours parallèlement à l'axe de piste, qu'une étude devra être menée afin de tenir compte des spécificités de parties de l'aire de trafic et de l'aérogare. Il en découle parfois un front des installations non rectiligne ou supérieur à celui de la méthode précédemment développée.

2. Surfaces nécessaires aux installations commerciales

Au stade de l'avant-projet de plan de masse, il est indispensable de savoir de combien d'hectares il faudra disposer pour que toutes les activités liées au trafic des passagers et du fret puissent se développer. On pourra utiliser, pour avoir les ordres de grandeur nécessaires, quelques ratios, mais évidemment avec toute la prudence liée à ce type de calcul.

Les données qui suivent sont applicables aux aéroports dont le trafic annuel est supérieur ou égal à un million de passagers et 10 000 tonnes de fret.

Pour les aéroports de taille inférieure, les types de trafics peuvent être fondamentalement différents (peu de gros avions ou nombreux avions de petite taille, notamment sur les plateformes sur lesquelles existe un *hub*).

Nota : *hub* : stratégie commerciale consistant à développer un réseau de lignes en étoile.

Par conséquent, on examinera soigneusement les avions critiques, les simultanités possibles d'avions de type donné et le nombre de fois où ces simultanités peuvent se reproduire au cours de l'année. Les besoins en équipements non liés au trafic sont à examiner au cas par cas.

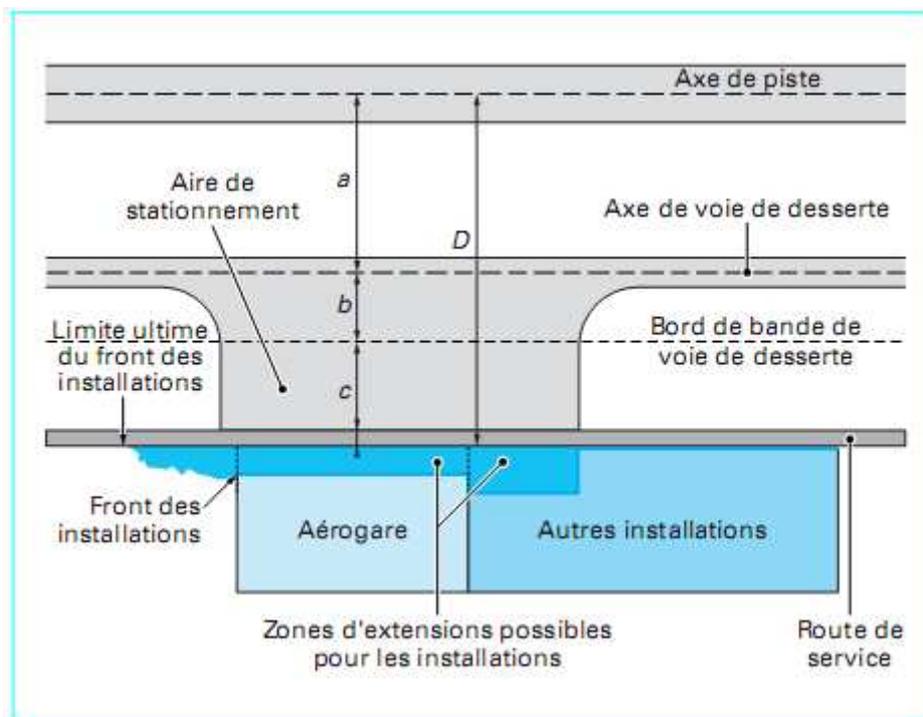


Figure : Front des installations par rapport à un axe de piste

a- Aires de stationnement

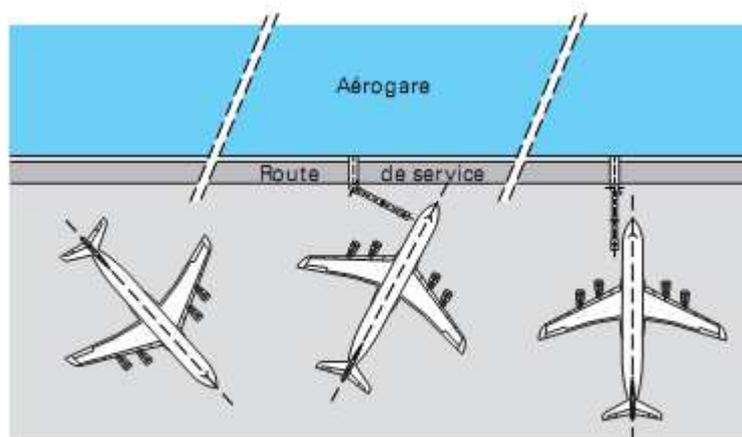
Sur les aérodromes au trafic important, les postes de stationnement sont généralement, à proximité de l'aérogare, aménagés en *nose-in* (axe de l'avion perpendiculaire à la façade du bâtiment) et les passagers sont embarqués et débarqués par une passerelle.

La capacité annuelle passagers par poste de stationnement est de l'ordre de :

- pour les vols internationaux :
Gros porteurs : 500 000 passagers,
Petits porteurs : 300 000 passagers ;
- pour les vols intérieurs :
Gros porteurs : 800 000 passagers,
Petits porteurs : 500 000 passagers.

Ces valeurs, valables pour les gros aéroports, sont à moduler selon le type d'exploitation ; ils sont plus faibles pour les *hubs* et plus forte pour les navettes.

Les surfaces nécessaires pour des appareils de type B747 et A320 stationnant en *nose-in* sont respectivement de 6 100 m² et 2 400 m².



b- Aérogare

Les ratios globaux de surfaces hors œuvre nécessaires au traitement des passagers sont de l'ordre de :

- 10 à 15 000 m² de surface hors œuvre (SHO), somme des surfaces des différents niveaux par millions de passagers annuels traités ;
- 6 à 15 m² de SHO par passager national de l'heure de pointe de référence ;
- 12 à 25 m² de SHO par passager international de l'heure de pointe de référence.

Ces fourchettes dépendent du confort que l'on apporte au passager.

La surface trouvée se répartit pour un million de passagers comme suit :

- ✓ 45 à 55 % de surface pour les besoins de la fonction trafic ;
- ✓ 5 à 10 % de surface pour les besoins de la surface commerciale ;
- ✓ 15 à 20 % de surface pour les besoins de la fonction opérationnelle ;
- ✓ 5 à 10 % de surface pour les besoins de la fonction administrative ;
- ✓ 10 % de surface pour les besoins de la fonction technique ;
- ✓ 10 à 15 % de surfaces diverses.

Sur les très gros aéroports, la part de surface destinée à la circulation des passagers est plus importante.

c- Autres installations liées au trafic

➤ **Parc à voitures passagers :**

Le besoin en surface de parking voiture peut varier en fonction du taux d'utilisation du véhicule selon l'aérogare étudiée. Les valeurs par million de passagers couramment rencontrées sont les suivantes :

- vols court courrier nationaux et internationaux :
1 000 à 1 200 places dans les parcs proches,
300 à 400 places dans les parcs éloignés ;
- vols long courrier nationaux et internationaux :
600 à 800 places dans les parcs proches,
200 à 300 places dans les parcs éloignés.

La surface (place de stationnement et voie de desserte) nécessaire par voiture est de 25 m².

Il est possible de diminuer l'emprise au sol des parkings voiture en aménageant des parkings à niveau (aérien ou souterrain).

À ces valeurs, il convient d'ajouter des places de parking pour les employés, intégrées ou non au parking passagers. Les ratios couramment utilisés sont de 20 à 30 places pour 100 employés.

➤ **Autres installations :**

Il faut ensuite implanter à proximité de la zone terminale un certain nombre d'installations notamment : vigie et bloc technique, Services de sauvetage et de lutte contre

les incendies des aéronefs (SSLIA), le service local des bases aériennes (SLBA), la gendarmerie des transports aériens (GTA), les essenciers, les moyens généraux...

Toutes les installations, la voirie routière qui les dessert, les espaces libres nécessaires entre les bâtiments, impliquent pratiquement de doubler la surface strictement nécessaire à l'ensemble aire de stationnement et aérogare pour obtenir la surface globale indispensable.

Finalement, pour l'ensemble des zones terminales passagères, on retiendra le chiffre de 10 hectares par million de passagers annuels.

d- Installations de fret

Les ratios de dimensionnement sont très variables d'un aéroport à l'autre : ils dépendent de la régularité de l'arrivée de fret. Le rendement peut aller de 3 tonnes par an et par mètre carré de surface hors œuvre (SHO) à 20 tonnes par an et par mètre carré.

La valeur la plus fréquemment rencontrée est de 7 tonnes par an et par mètre carré de surface hors œuvre (SHO).

On pourra estimer la surface globale (bâtiment, aire de manœuvre camion et parking camion) nécessaire pour traiter 10 000 tonnes par an à 3 500 m².

Le rendement par poste est :

- fret régulier : 100 000 tonnes par an ;
- fret express : 40 000 tonnes par an ;
- poste : 20 000 tonnes par an.

Les postes de stationnement pour le trafic fret pourront être surdimensionnés par rapport aux postes du trafic passagers afin de pouvoir créer des zones de stockage de containers.

3. Zone industrielle

Sur de nombreux aéroports importants (accueillant plus de un million de passagers par an), on trouve des installations industrielles liées soit à l'entretien des avions, soit à la construction aéronautique, soit simplement à la possibilité d'existence d'une zone sous douane pour avoir des entrepôts ou des usines de montage d'appareils dont les pièces détachées viennent de nombreux pays étrangers. Il n'est évidemment pas possible de donner de ratio pour ce type d'activités.

a- Implantation de la zone industrielle

Dans tous les cas, on aura intérêt à séparer les zones industrielles des zones terminales commerciales car chacune de ces zones nécessite des réserves de terrain de chaque côté pour assurer la souplesse d'extension maximale.

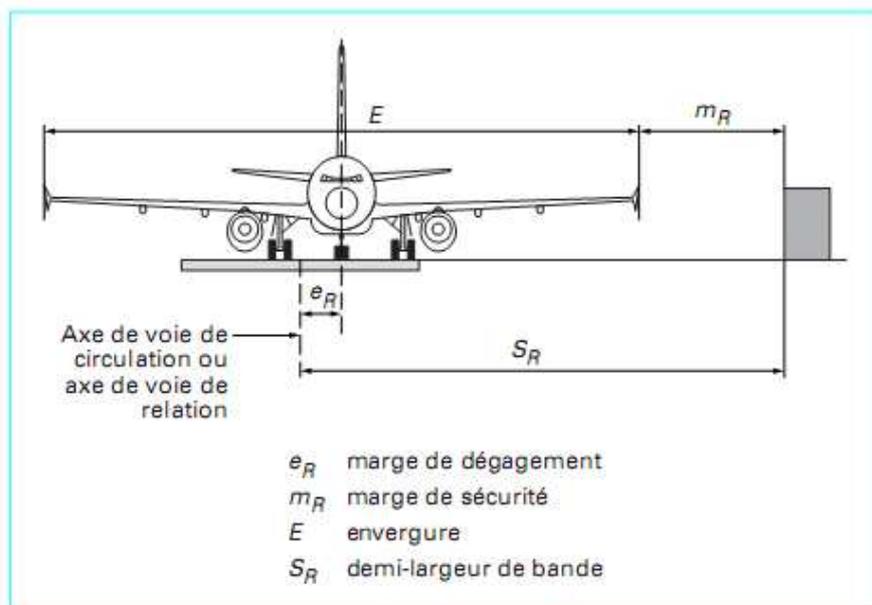
On implantera la zone industrielle du côté opposé des installations terminales par rapport au système de pistes. De même que l'on rencontre souvent sur des petits aéroports une zone avions d'un côté de la piste et une zone planeurs de l'autre, on trouvera une zone terminale passagers et fret d'un côté et une zone industrielle et entretien de l'autre.

b- Implantation du front d'installations de zone industrielle

La distance souhaitable entre l'axe de piste et le front des installations industrielles est de l'ordre de 450 m pour les aéroports de capacité ultime de 5 à 10 millions de passagers par an. Sur les plus grands aéroports (accueillant plus de 10 millions), cette distance est en général de l'ordre de 600 m, car les voies de circulation entre les installations et la piste demandent une profondeur importante.

II- CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA PERIPHERIQUE DE LA PISTE

1. Voie de circulation



Largeurs de bandes minimales pour les voies de relation et de desserte

Largeurs de bandes minimales pour les voies de relation et de desserte		
Code lettre	Largeur de bande = $2 \cdot S_R$ (m)	
	Voie de relation	Voie de desserte
A	27	24
B	43	36
C	57 ou 60 (*)	52
D	81	72
E	95	85
F	110	100

(*) 60 m si la voie de relation est destinée à des avions dont l'empattement est supérieur ou égal à 18 m.

Largeurs minimales d'un accotement et de la bande aménagée d'une voie de relation

Largeurs minimales d'un accotement et de la bande aménagée d'une voie de relation (m)		
Code lettre	Largeur minimale d'un	Largeur minimale
A	4,5 (1)	16,5
B	7,25 (1)	25
C	7,5	30 (2) ou 33 (3)
D	10	38 (4) ou 43 (5)
E	10,5	44
F	17,5	60

(1) Accotements simplement nivelés.
 (2) Avion ayant un empatement inférieur à 18 mètres.
 (3) Avion ayant un empatement supérieur ou égal à 18 mètres.
 (4) Largeur hors-tout train principal inférieure à 9 m.
 (5) Largeur hors-tout train principal supérieure ou égale à 9 m.

Caractéristiques géométriques des voies de circulation

Caractéristiques géométriques des voies de circulation					
Code lettre	Voie de relation		Voie de desserte		Rayon intérieur de congés de raccordement entre la voie et une piste ou autre voie (m)
	Largeur de la voie (m)	Marge e_R de dégagement (m)	Largeur de la voie (m)	Marge e_D de dégagement(m)	
A	7,5	1,5	7,5	1,5	15
B	10,5	2,25	9	1,5	20
C	15 (1) ou 18 (2)	3 (1) ou 4,5 (2)	13	2	30
D	18 (3) ou 23 (4)	4,5	19	2,5	50
E	23	4,5	19	2,5	50
F	25	4,5	21	2,5	≥50

(1) Empattement avion inférieur à 18 m. (2) Empattement avion supérieur ou égal à 18 m.
 (3) Largeur hors-tout train principal inférieure à 9 m. (4) Largeur hors-tout train principal supérieure ou égale à 9 m.

2. Surface de limitation des obstacles

Caractéristique général de la trouée d'atterrissage

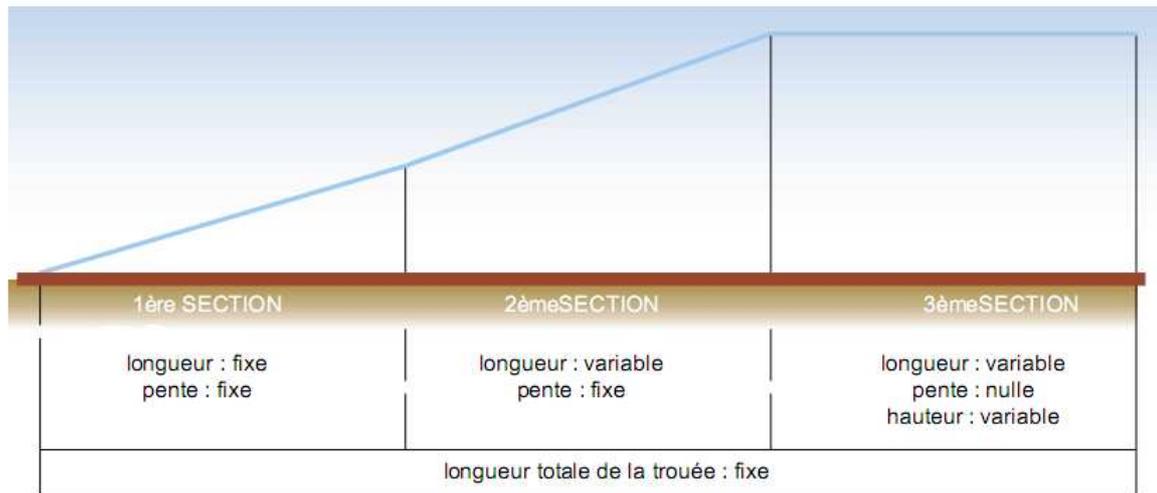
	Piste exploitée à vue				Piste exploitée aux instruments						
	Approche à vue de jour				Approche classique				Approche de précision		
									Catégorie I		Catégorie II ou III
	1	2	3	4	1	2	3	4	1 ou 2	3 ou 4	3 ou 4
Largeur à l'origine (m)	60	80	150	150	150	150	300	300	150	300	300
Distance au seuil (m)	30	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
Longueur totale (m)	1 600	2 500	3 000	3 000	2 500	2 500	15 000	15 000	15 000	15 000	15 000

Caractéristique de la première section de la trouée d'atterrissage

	Piste exploitée à vue				Piste exploitée aux instruments						
	Approche à vue de jour				Approche classique				Approche de précision		
									Catégorie I		Catégorie II ou III
	1	2	3	4	1	2	3	4	1 ou 2	3 ou 4	3 ou 4
Longueur (m)	1 600	2 500	3 000	3 000	2 500	2 500	3 000	3 000	3 000	3 000	3 000
Pente %	5	4	3,33	2,5	3,33	3,33	2	2	2,5	2	2

Pente de la deuxième section de la trouée d'atterrissage

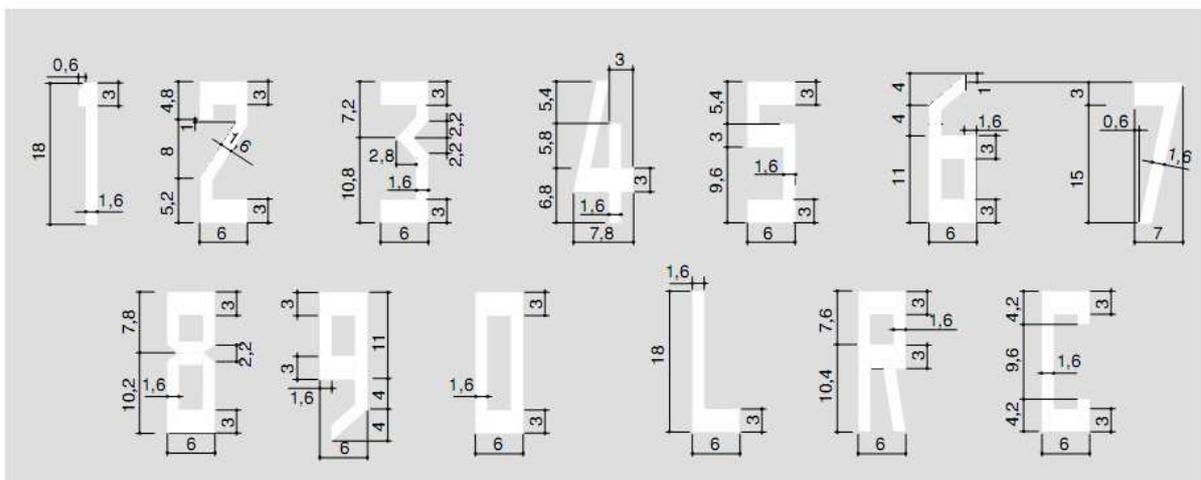
Piste exploitée à vue				Piste exploitée aux instruments						
Approche à vue de jour				Approche classique				Approche de précision		
								Catégorie I		Catégorie II ou III
1	2	3	4	1	2	3	4	1 ou 2	3 ou 4	3 ou 4
Pas de deuxième section						2,5%	2,5%	3%	2,5%	2,5%



12-5 Articulation des trois sections d'une trouée d'atterrissage

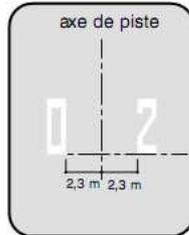
III- LES AIDES VISUELLES

Formes et dimensions des lettres et des chiffres des marques d'identification de piste
(valeurs exprimées en mètres)

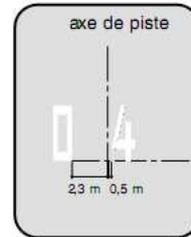


Position du numéro d'identification par rapport à l'axe de la piste

- Cas général : 0,2,3,5,6,7,8,9

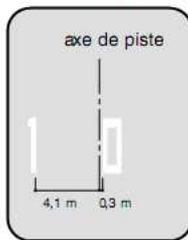


- Chiffre 4 : pistes 04, 14, 24, 34

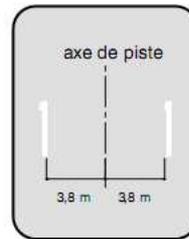


- Exceptions : chiffres 1 et 4

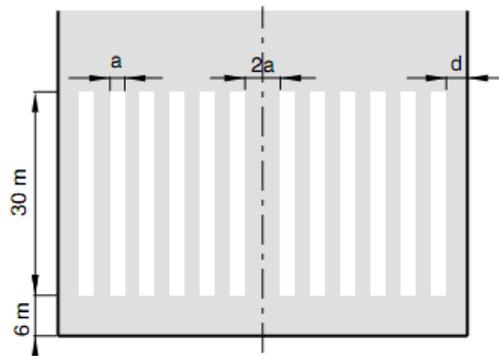
Chiffre 1 : pistes 1 01, 21, 31



- Nombres particuliers



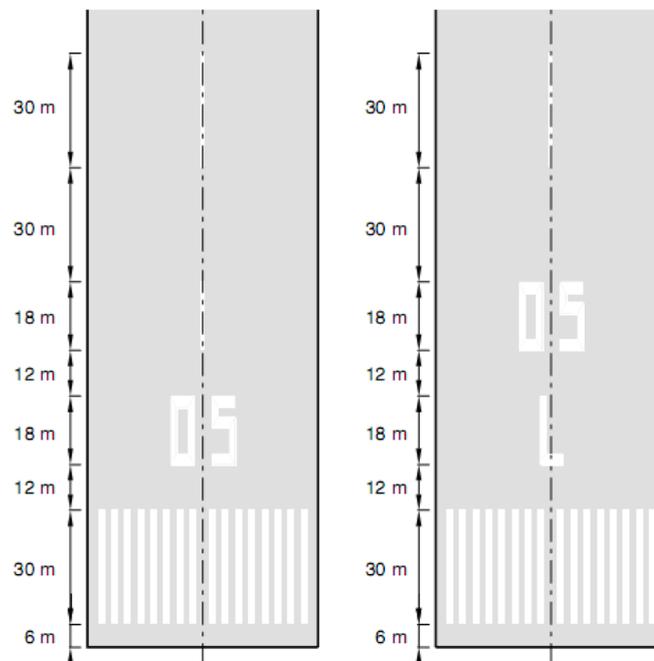
Disposition des marques de seuil d'une piste de 45 m (2 x 6 bandes)



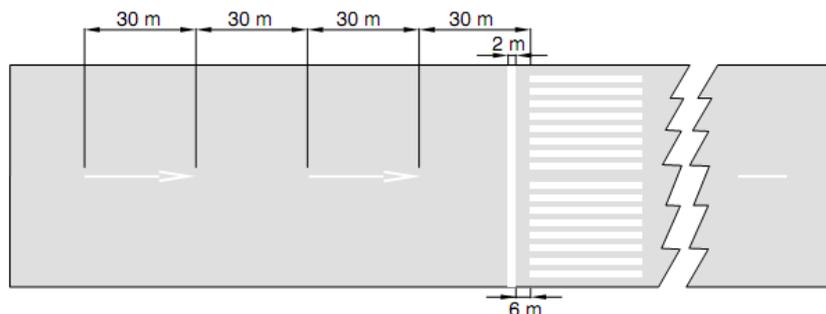
Nombre de bandes, largeur et espacement d'une marque de seuil

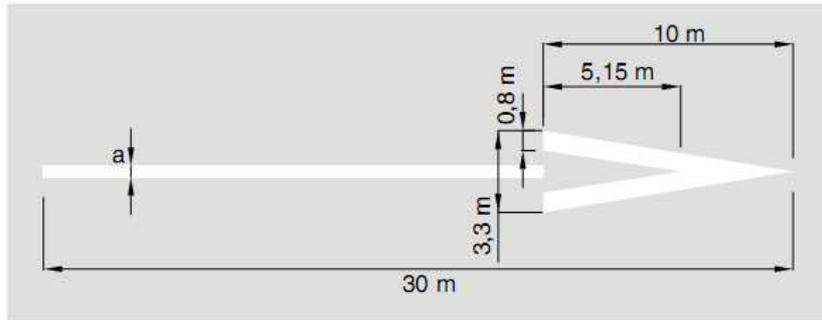
<i>Largeur de piste</i>	<i>2n</i>	<i>a</i>	<i>d</i>
<i>18 m</i>	<i>4</i>	<i>1,5 m</i>	<i>3 m</i>
<i>23 m</i>	<i>6</i>	<i>1,5 m</i>	<i>2,5 m</i>
<i>30 m</i>	<i>8</i>	<i>1,5 m</i>	<i>3 m</i>
<i>45 m</i>	<i>12</i>	<i>1,7 m</i>	<i>2,1 m</i>
<i>60 m</i>	<i>16</i>	<i>1,7 m</i>	<i>2,8 m</i>

Marques de seuil, d'identification et d'axe de piste (distances exprimées en mètres)



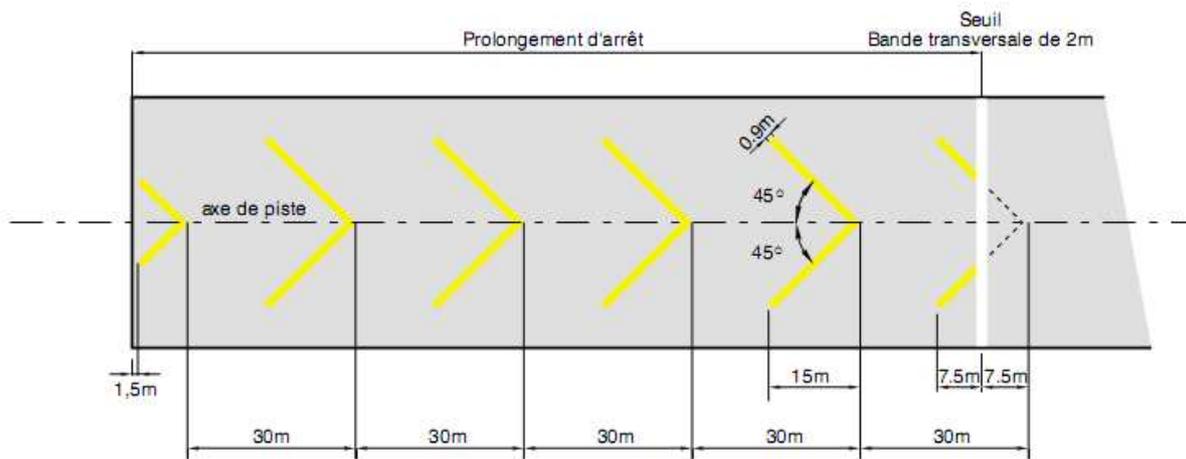
Flèche d'axe en amont d'un seuil décalé



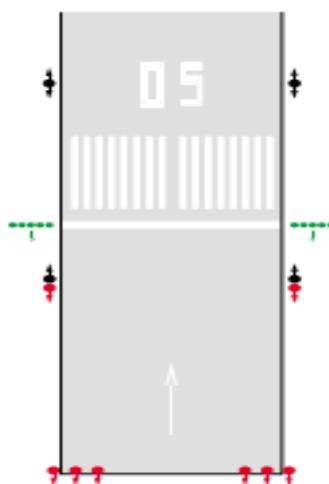


a = 0,45 m si la largeur du trait d'axe de piste est de 0,90m ;
a = 0,30 m si la largeur du trait d'axe de piste est de 0,45m ;
a = 0,20 m si la largeur du trait d'axe de piste est de 0,30m.

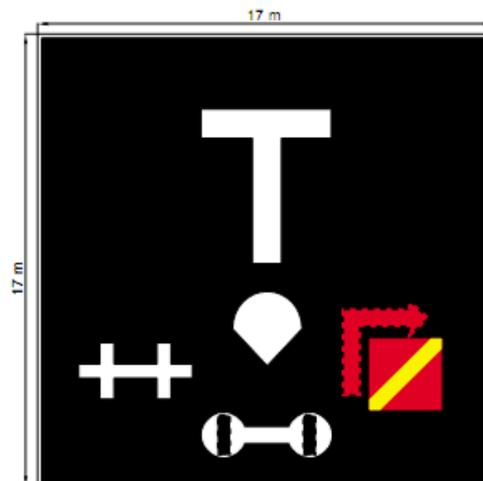
Marques de prolongement d'arrêt



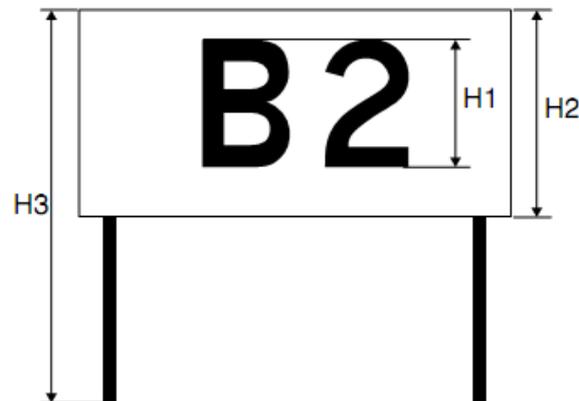
Seuil en extrémité de piste



Aire à signaux



Descriptif du panneau

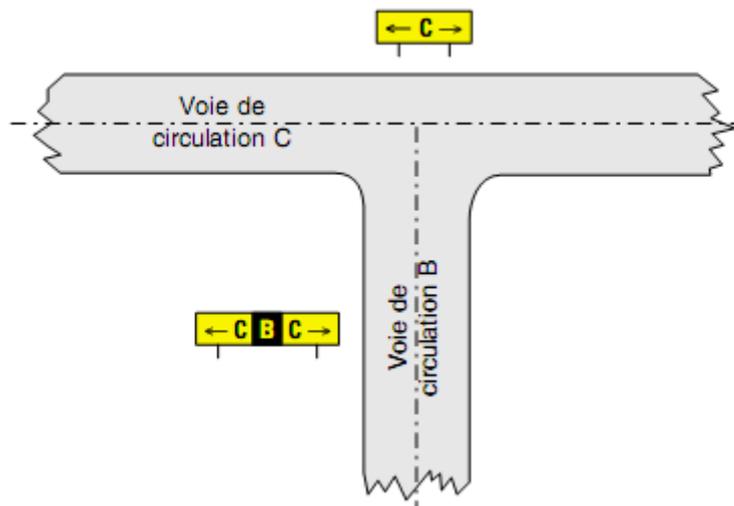
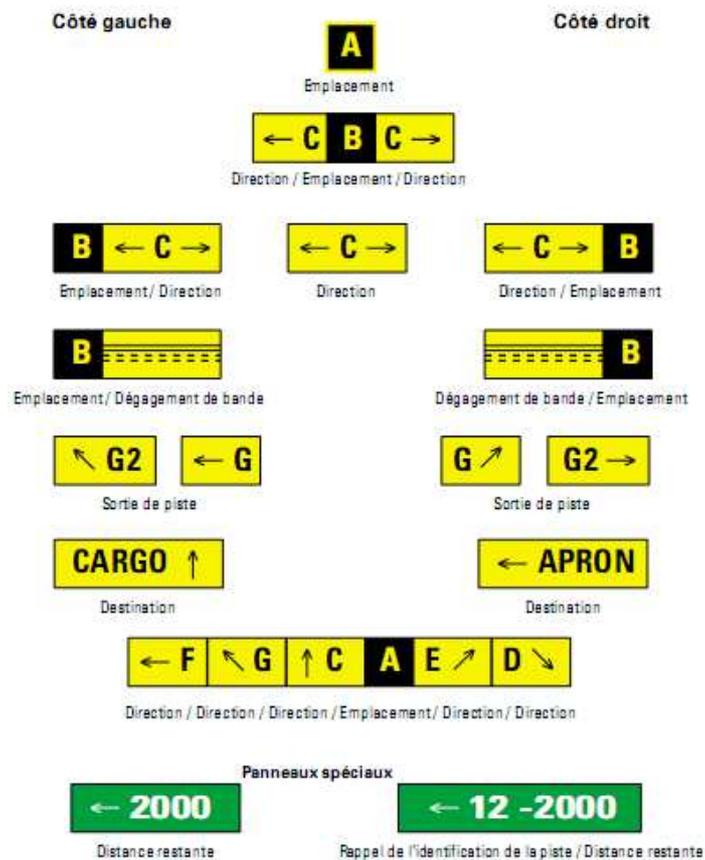


Hauteur et distance d'implantation des panneaux de signalisation

Longueur de piste (m)	Type de panneau	Distance (m)						
		Hauteur (cm)			Distance entre le bord de la voie de circulation et le bord du panneau		Distance entre le bord de la piste et le bord du panneau	
		H1	H2	H3	mini	maxi	mini	maxi
≤ 2 400	PO, PI (option 1)	20	40	70(a)	5	11	5	10
	PO (option 2 recommandée)	30	60	90				
≥ 2 400	PI	30	60	90	11	21	8	15
	PO	40	80	110				

(a) Une hauteur maximale de 80 cm est tolérée
 PO : panneau d'obligation, PI : panneau d'indication

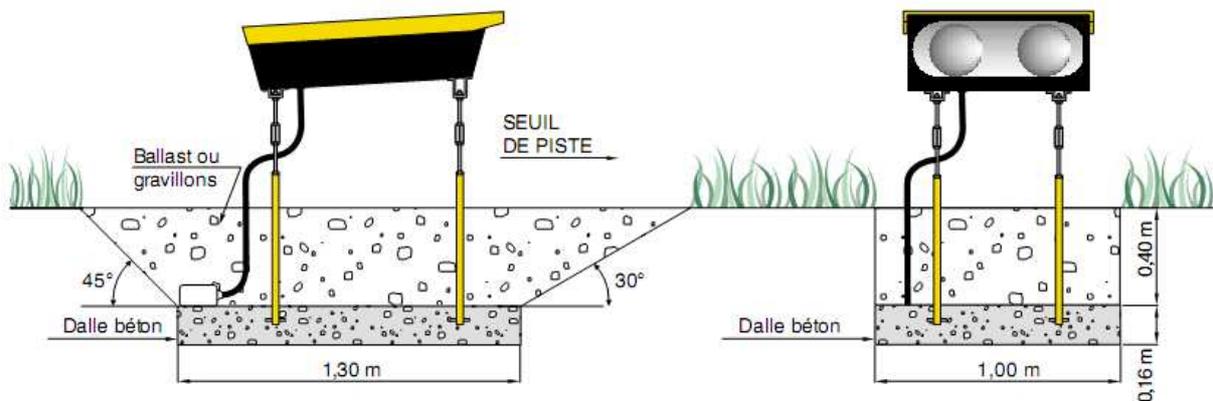
Panneau d'indication



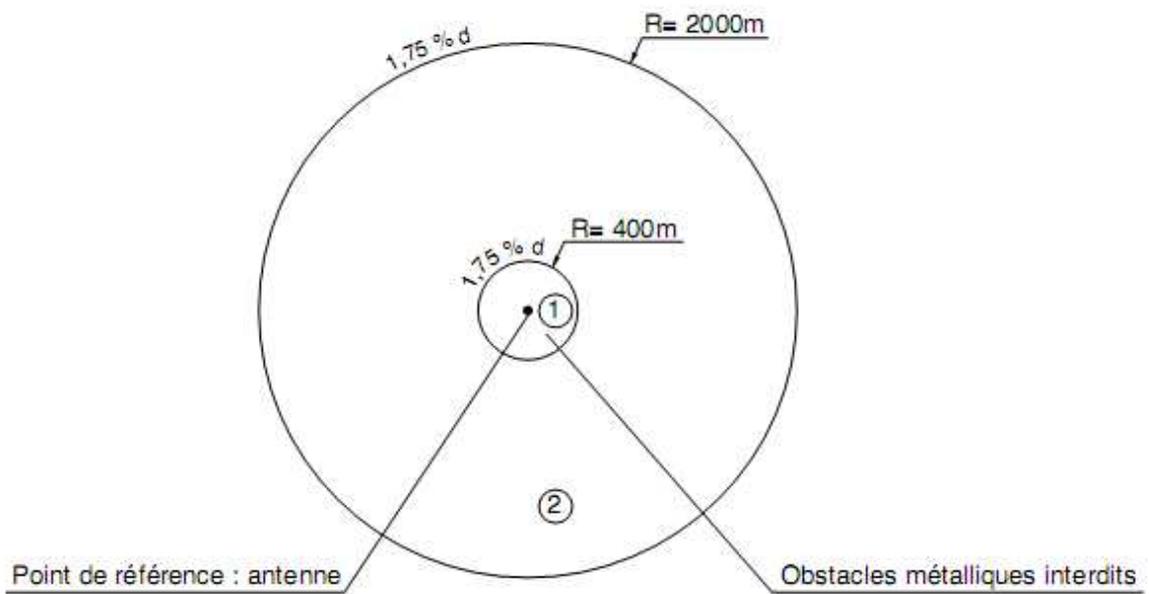
Panneau d'obligation



PAPI



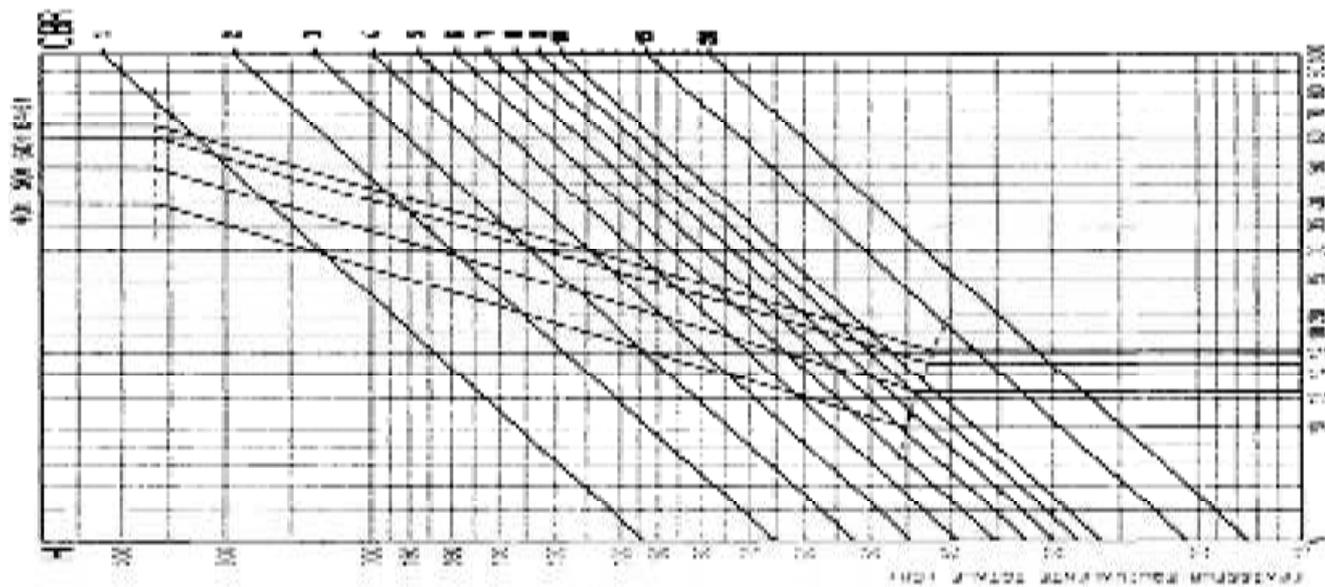
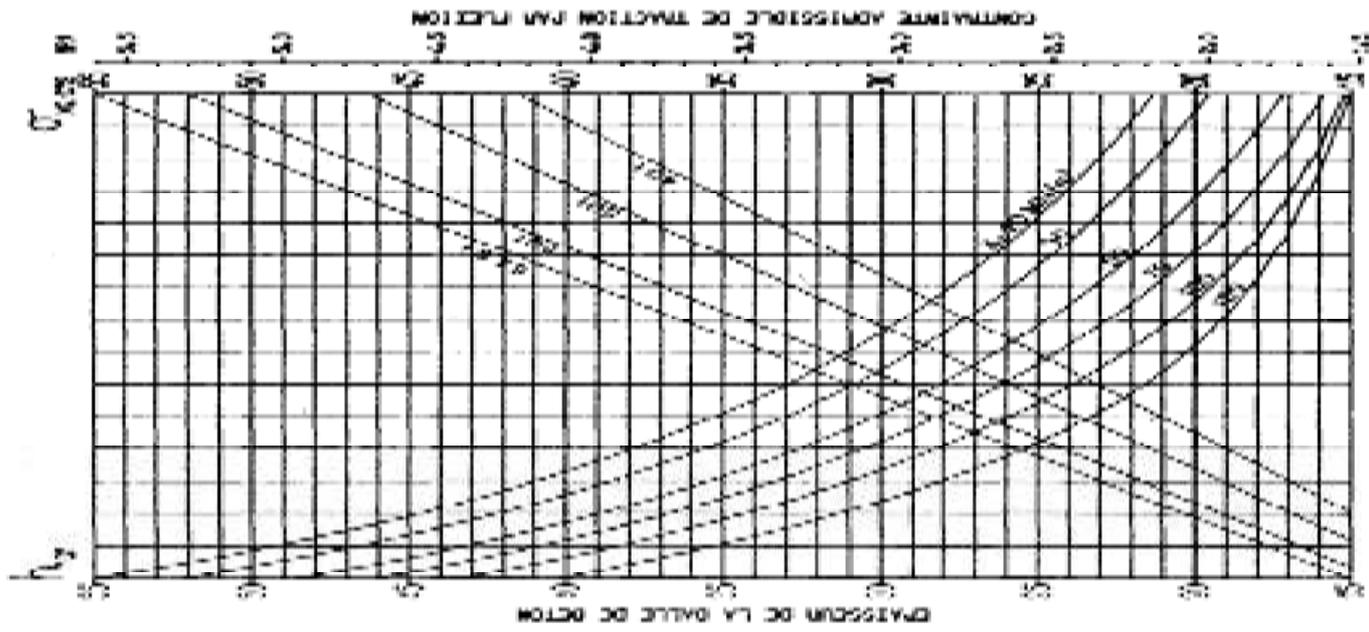
Spécifications de protection d'un V.O.R. contre les obstacles



B-LES ABAQUES

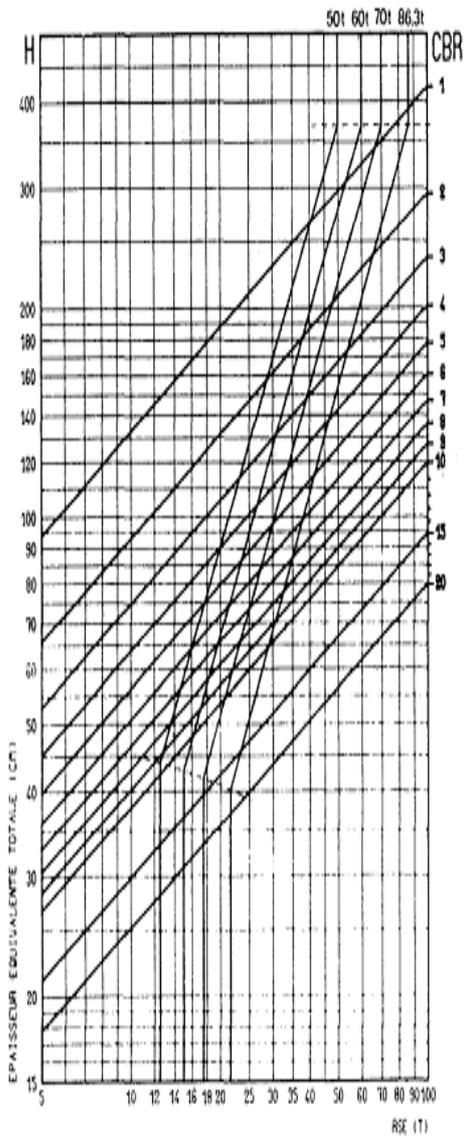
I- ABAQUES RELATIFS AUX AERONEFS (ABAQUE DE DIMENSIONNEMENT)

B 767	Pression = 1,18 MPa
ATERRISEUR PRINCIPAL	V = 1,140 m
Boggie	E = 1,420 m
	S = 1,821 m

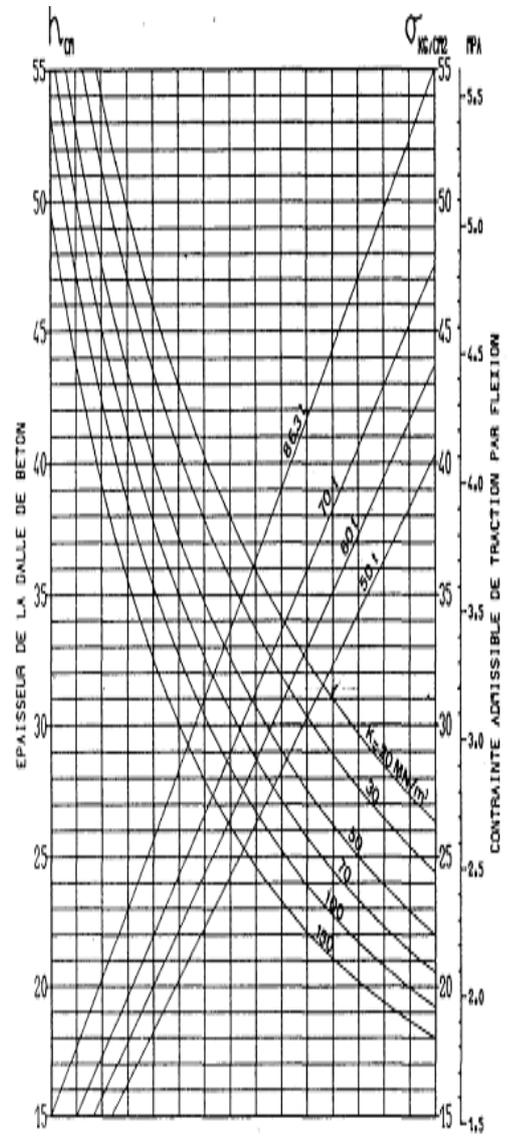


B 747
Séries 100-200 B, C, F — SR
 ATERRISSEUR PRINCIPAL
 Boggie

Pression = 1,45 MPa
 V = 1,120 m
 E = 1,470 m
 S = 1,848 m



CHAUSSÉE SOUPLE



CHAUSSÉE RIGIDE

97

B 747

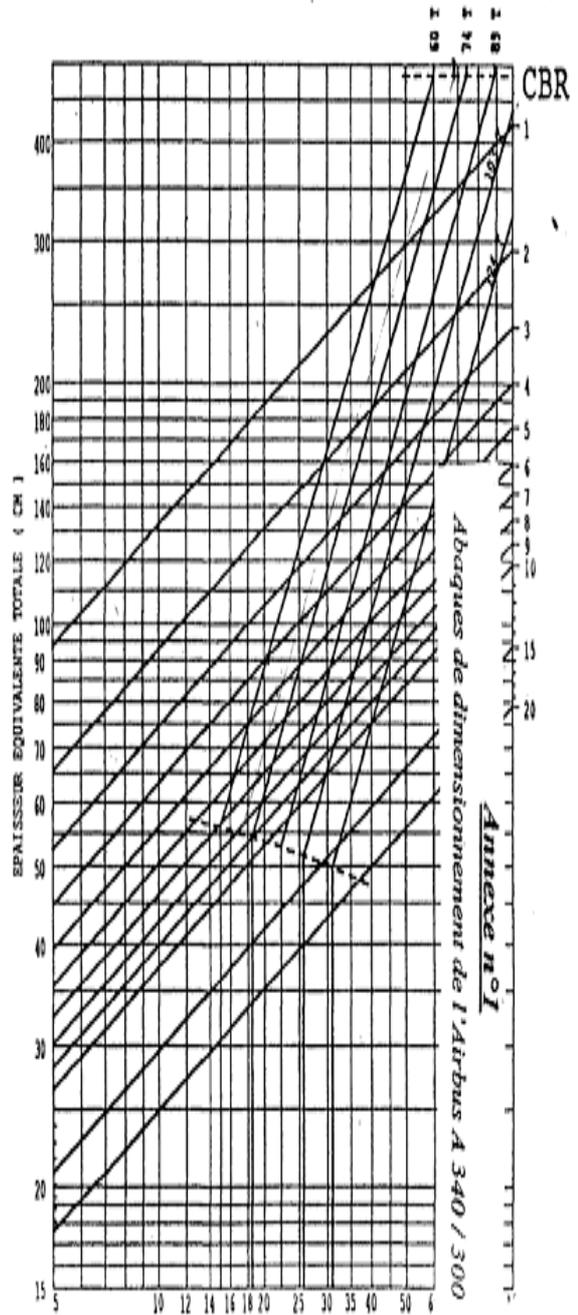
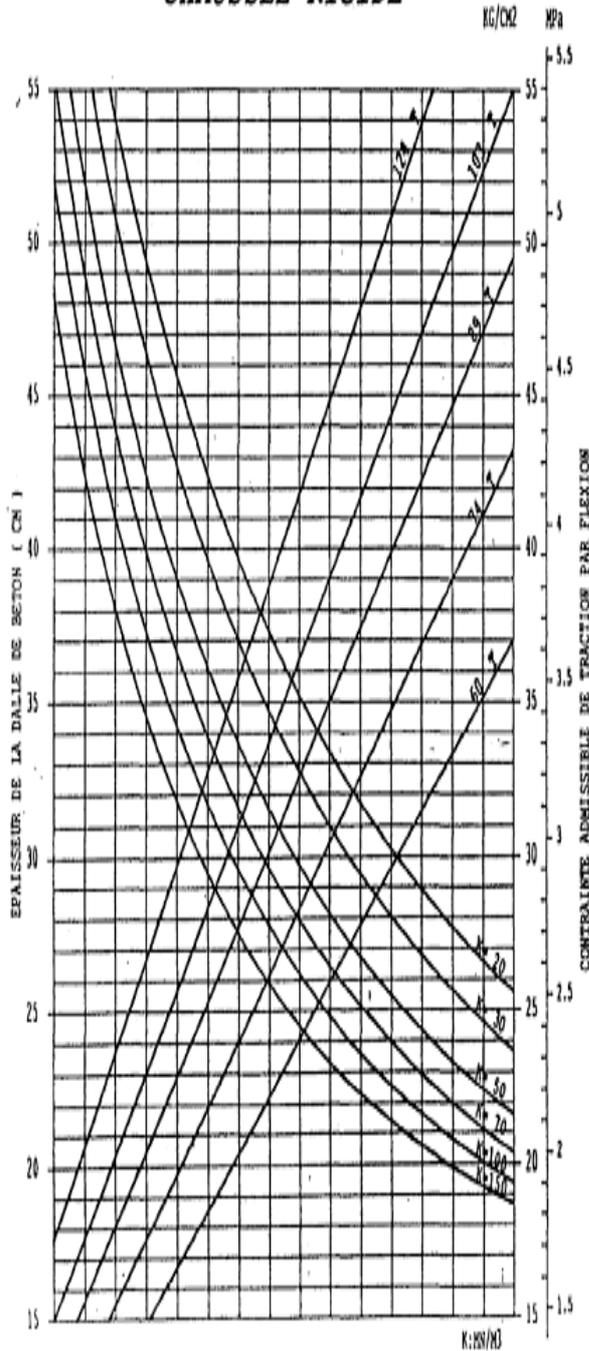
AIRBUS A340-200-300

ATTERRISEUR PRINCIPAL
BOGGIE

ENPATTEMENT = 1.981 m
SD = 2.424 m

CHAUSSEE RIGIDE

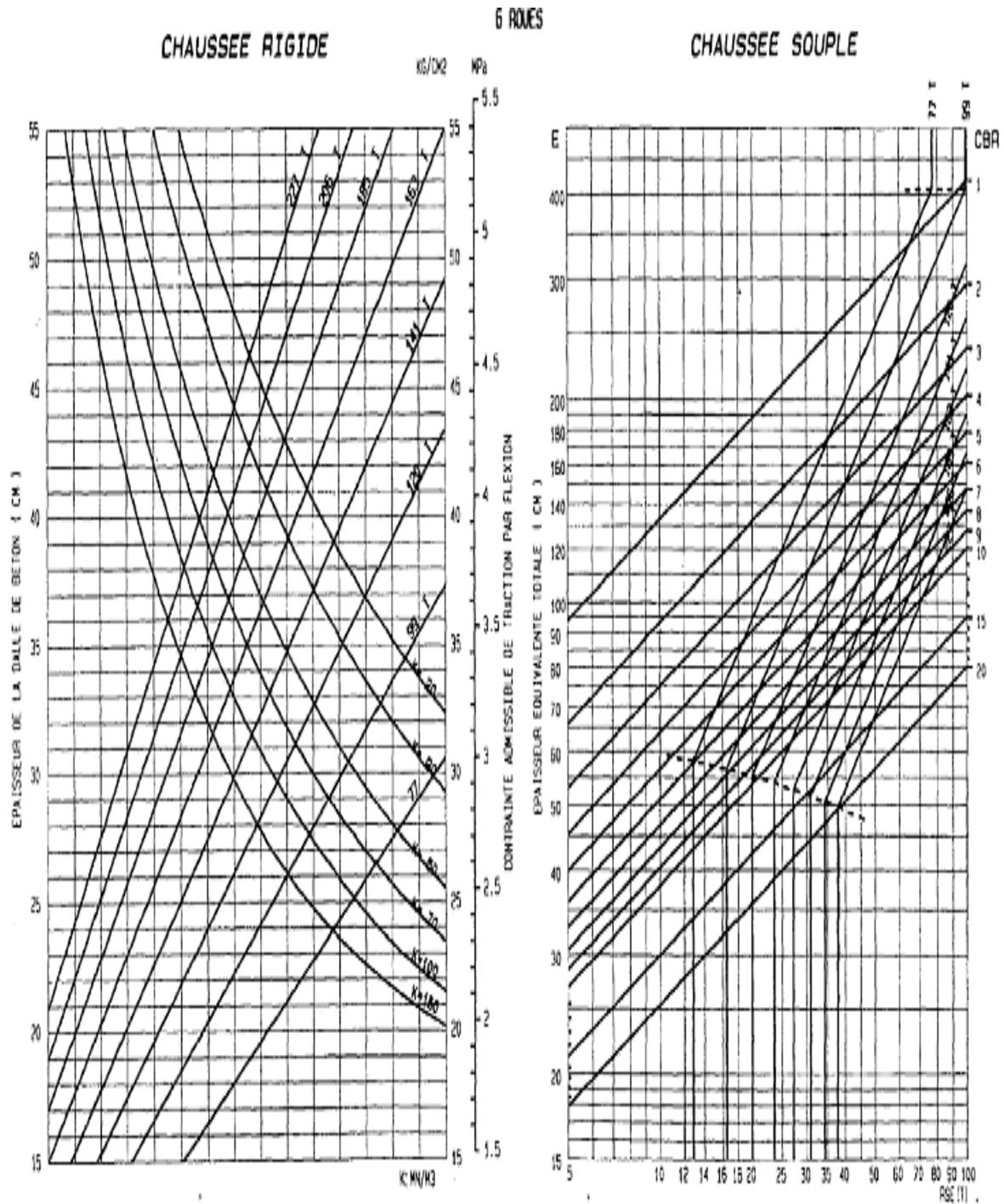
CHAUSSEE SOUPLE



MASSE MAXI ROULAGE (kg) = 352 500
 MASSE A VIDE OPERATIONNELLE (kg) = 168 000
 CENTRAGE AR MAX (%) = 45.23

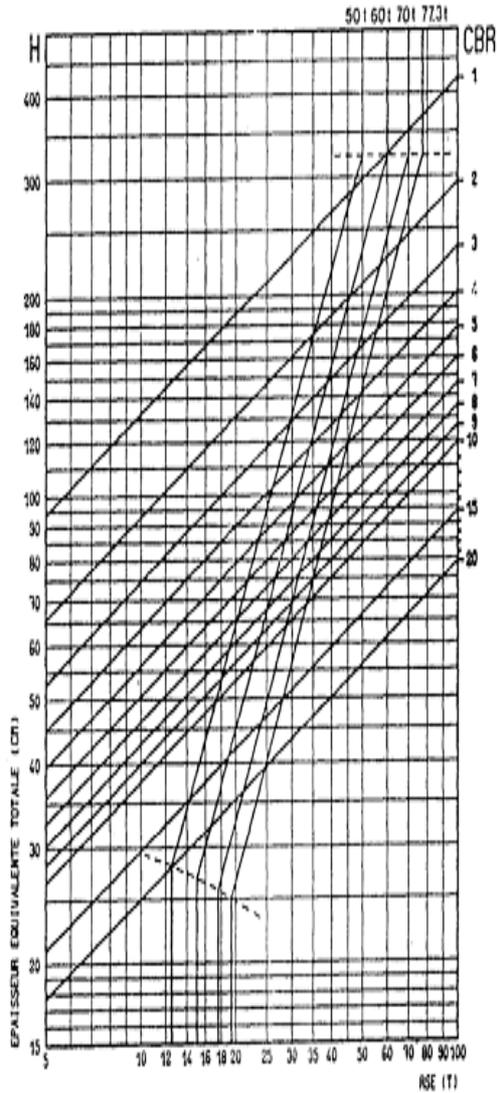
B777 300ER
 ATERRISSEUR PRINCIPAL

PRESSION = 1.95 MPa

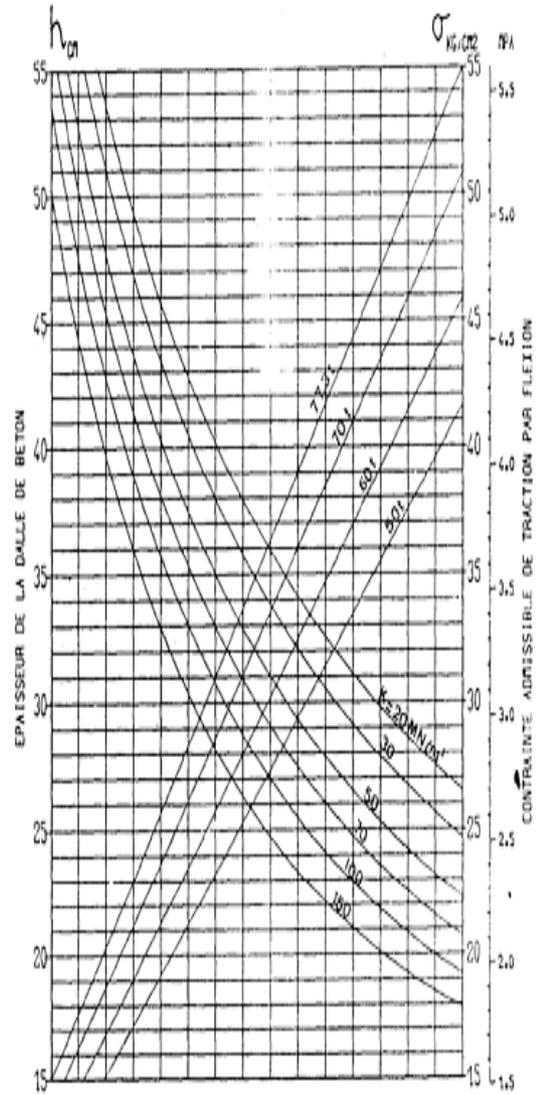


DC 8
Séries 62-63
ATTERRISEUR PRINCIPAL
 Boggie

Pression = 1,34 MPa
 V = 0,813 m
 E = 1,397 m
 S = 1,616 m



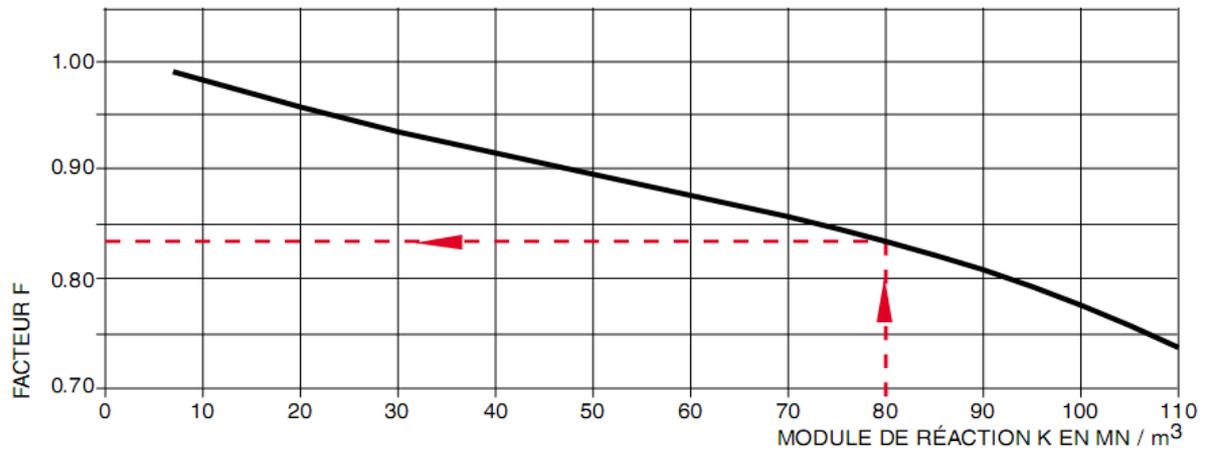
CHAUSSÉE SOUPLE



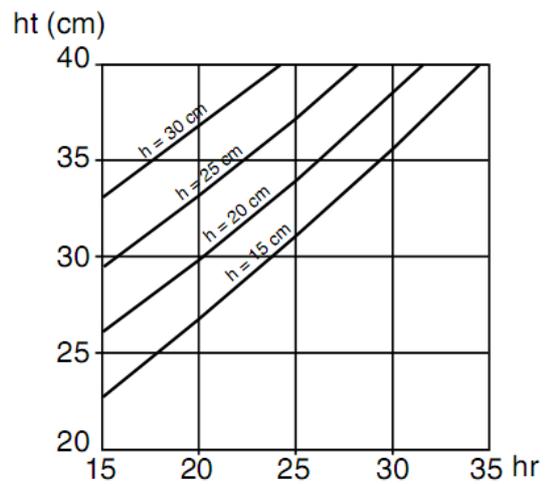
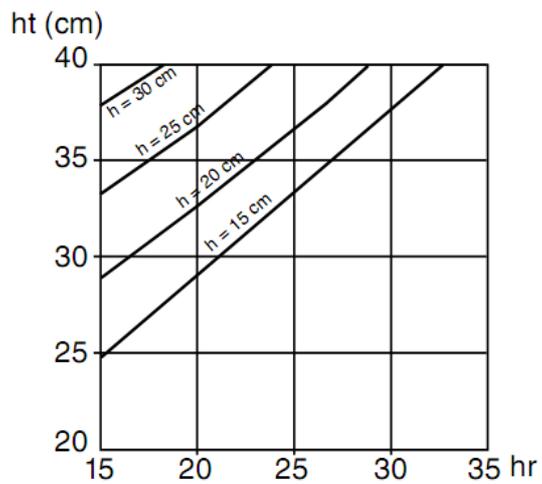
CHAUSSÉE RIGIDE

II- ABAQUE POUR LES CHAUSSEES RIGIDES

Détermination du facteur F



Abaque de détermination de h_t



III- ABAQUE DE JONES ET PEATIES

H = 0,125 k ₁ = 2,0							
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} -σ _{r1}	σ _{z1} -σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} -σ _{r2}	σ _{z2} -σ _{r3}	
							k₂ = 0,2
0,1	0,43055	0,71614	0,35807	0,01682	0,00350	0,01750	
0,2	0,78688	1,01561	0,50780	0,06511	0,01348	0,06741	
0,4	0,98760	0,83024	0,41962	0,23005	0,04669	0,23346	
0,8	1,01028	0,63961	0,31981	0,60886	0,11484	0,57418	
1,6	1,00647	0,65723	0,32862	0,90959	0,13726	0,68630	
3,2	0,99822	0,38165	0,10093	0,94322	0,09467	0,47335	
							k₂ = 2,0
0,1	0,42950	0,70622	0,35303	0,00896	0,01716	0,00858	
0,2	0,78424	0,97956	0,48989	0,03493	0,06647	0,03324	
0,4	0,98044	0,70970	0,35488	0,12667	0,23531	0,11766	
0,8	0,99434	0,22319	0,11164	0,36932	0,63003	0,31501	
1,6	0,99364	-0,19982	-0,09995	0,72113	0,97707	0,48853	
3,2	0,99922	-0,28916	-0,14461	0,96148	0,84030	0,42015	
							k₂ = 20,0
0,1	0,43022	0,69332	0,34662	0,00228	0,03467	0,00173	
0,2	0,78414	0,92086	0,46048	0,00899	0,13541	0,00677	
0,4	0,97493	0,46583	0,23297	0,03392	0,49523	0,02476	
0,8	0,97806	-0,66535	-0,33270	0,11350	1,49612	0,07481	
1,6	0,96921	-2,82859	-1,41430	0,31263	3,28512	0,16426	
3,2	0,98591	-5,27906	-2,63954	0,68433	5,05952	0,25298	
							k₂ = 200,0
0,1	0,42025	0,67488	0,33744	0,00046	0,04848	0,00024	
0,2	0,78267	0,85397	0,42698	0,00183	0,19043	0,00095	
0,4	0,97360	0,21165	0,10582	0,00711	0,71221	0,00356	
0,8	0,97295	-1,65954	-0,82977	0,02597	2,32652	0,01163	
1,6	0,95546	-6,47707	-3,23855	0,08700	6,26638	0,03133	
3,2	0,96377	-16,67376	-8,33691	0,26292	14,25621	0,07128	

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

H = 0,125 k ₁ = 20,0							
A ₁	σ ₂₁	σ ₂₁ -σ _{r1}	σ ₂₁ -σ _{r2}	σ ₂₂	σ ₂₂ -σ _{r2}	σ ₂₂ -σ _{r3}	
							k₂ = 0,2
0,1	0,14648	1,80805	0,09040	0,01645	0,00322	0,01611	
0,2	0,39260	3,75440	0,18772	0,06407	0,01249	0,06244	
0,4	0,80302	5,11847	0,25592	0,23135	0,04421	0,22105	
0,8	1,06594	3,38600	0,16930	0,64741	0,11468	0,57342	
1,6	1,02942	1,81603	0,09080	1,00911	0,13687	0,68436	
3,2	0,99817	1,75101	0,08756	0,97317	0,07578	0,37890	
							k₂ = 2,0
0,1	0,14529	1,81178	0,09059	0,00810	0,01542	0,00771	
0,2	0,38799	3,76886	1,88440	0,03170	0,06003	0,03002	
0,4	0,78651	5,16717	0,25836	0,11650	0,21646	0,10820	
0,8	1,02218	3,43631	0,17182	0,34941	0,60493	0,30247	
1,6	0,99060	1,15211	0,05761	0,60014	0,97146	0,48573	
3,2	0,99893	-0,06894	-0,00345	0,03487	0,88358	0,44179	
							k₂ = 20,0
0,1	0,14447	1,80664	0,09033	0,00182	0,02985	0,00149	
0,2	0,38469	3,74573	0,18729	0,00716	0,11697	0,00585	
0,4	0,77394	5,05400	0,25274	0,02710	0,43263	0,02163	
0,8	0,98610	2,92533	0,14627	0,09061	1,33736	0,06687	
1,6	0,93712	-1,27093	-0,06355	0,24528	2,99215	0,14961	
3,2	0,96330	-7,35384	-0,36761	0,55490	5,06489	0,25324	
							k₂ = 200,0
0,1	0,14422	1,78941	0,08947	0,00033	0,04010	0,00020	
0,2	0,38388	3,68097	0,18405	0,00131	0,15781	0,00079	
0,4	0,77131	4,80711	0,24036	0,00505	0,59391	0,00297	
0,8	0,97701	1,90825	0,09541	0,01830	1,05709	0,00979	
1,6	0,91645	-5,28803	-0,26440	0,06007	5,25110	0,02626	
3,2	0,92662	-21,52546	-1,07627	0,18395	12,45058	0,06225	

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

H = 0,25 k ₁ = 2,0						
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} -σ _{r1}	σ _{z1} -σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} -σ _{r2}	σ _{z2} -σ _{r3}
k₂ = 0,2						
0,1	0,15577	0,28658	0,14329	0,01348	0,00277	0,01384
0,2	0,43310	0,72176	0,36088	0,05259	0,01075	0,05377
0,4	0,79551	1,03476	0,51738	0,19094	0,03842	0,19211
0,8	1,00871	0,88833	0,44416	0,54570	0,10337	0,51687
1,6	1,02425	0,66438	0,33219	0,90563	0,14102	0,70510
3,2	0,99617	0,41539	0,20773	0,93918	0,09804	0,49020
k₂ = 2,0						
0,1	0,15524	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	0,19178	0,09589
0,8	0,96703	0,66885	0,33442	0,31771	0,55211	0,27605
1,6	0,98158	0,17331	0,08665	0,66753	0,95080	0,47540
3,2	0,99840	-0,05691	-0,02846	0,93798	0,89390	0,44695
k₂ = 20,0						
0,1	0,15436	0,27580	0,13790	0,00179	0,02728	0,00136
0,2	0,42462	0,67115	0,33557	0,00706	0,10710	0,00536
0,4	0,76647	0,84462	0,42231	0,02697	0,39919	0,01996
0,8	0,92757	0,21951	0,10978	0,09285	1,26565	0,06328
1,6	0,91393	-1,22411	-0,61205	0,26454	2,04860	0,14743
3,2	0,95243	-3,04320	-1,52160	0,60754	4,89878	0,24494
k₂ = 200,0						
0,1	0,15414	0,26776	0,13388	0,00036	0,03814	0,00019
0,2	0,42365	0,63873	0,31937	0,00143	0,15040	0,00075
0,4	0,76296	0,71620	0,35810	0,00557	0,57046	0,00285
0,8	0,91600	-0,28250	-0,14125	0,02064	1,92638	0,00963
1,6	0,88406	-3,09856	-1,54028	0,07014	5,35036	0,02680
3,2	0,89712	-9,19214	-4,59107	0,21692	12,64318	0,06322

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

H = 0,25 k ₁ = 20,0						
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} -σ _{r1}	σ _{z1} -σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} -σ _{r2}	σ _{z2} -σ _{r3}
k₂ = 0,2						
0,1	0,04596	0,61450	0,03072	0,01107	0,00202	0,01011
0,2	0,15126	1,76675	0,08834	0,04357	0,00793	0,03964
0,4	0,41030	3,59650	0,17983	0,16337	0,02931	0,14653
0,8	0,85464	4,58845	0,22942	0,51644	0,08771	0,43854
1,6	1,12013	2,31165	0,11558	1,01061	0,14039	0,70194
3,2	0,99676	1,24415	0,06221	0,99168	0,07587	0,37934
k₂ = 2,0						
0,1	0,04381	0,63215	0,03162	0,00530	0,00962	0,00481
0,2	0,14282	1,83766	0,09188	0,02091	0,03781	0,01891
0,4	0,37882	3,86779	0,19339	0,07933	0,14159	0,07079
0,8	0,75904	5,50796	0,27540	0,26278	0,44710	0,22355
1,6	0,98743	4,24281	0,21213	0,61673	0,90115	0,45058
3,2	1,00064	1,97494	0,09876	0,91258	0,93254	0,46627
k₂ = 20,0						
0,1	0,04236	0,65003	0,03250	0,00123	0,01930	0,00096
0,2	0,13708	1,90693	0,09535	0,00488	0,07623	0,00381
0,4	0,35716	4,13976	0,20699	0,01888	0,29072	0,01454
0,8	0,68947	6,48948	0,32447	0,06741	0,98565	0,04928
1,6	0,85490	6,95639	0,34782	0,20115	2,55231	0,12762
3,2	0,90325	6,05854	0,30293	0,48647	4,76234	0,23812
k₂ = 200,0						
0,1	0,04204	0,65732	0,03287	0,00024	0,02711	0,00014
0,2	0,13584	1,93764	0,09688	0,00095	0,10741	0,00054
0,4	0,35237	4,26004	0,21300	0,00372	0,41459	0,00207
0,8	0,67286	6,94871	0,34743	0,01399	1,46947	0,00735
1,6	0,81223	8,55770	0,42789	0,04830	4,36521	0,02183
3,2	0,82390	10,63614	0,53181	0,15278	10,93570	0,05468

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

H = 0,5 k ₁ = 2,0						
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} -σ _{r1}	σ _{z1} -σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} -σ _{r2}	σ _{z2} -σ _{r3}
k₂ = 0,2						
0,1	0,04496	0,08398	0,04199	0,00903	0,00181	0,00906
0,2	0,15978	0,28904	0,14452	0,03551	0,00711	0,03554
0,4	0,44523	0,72313	0,36156	0,13314	0,02634	0,13172
0,8	0,83298	1,03603	0,51802	0,42199	0,07992	0,39962
1,6	1,05462	0,83475	0,41737	0,85520	0,13073	0,69363
3,2	0,99967	0,45119	0,22560	0,94506	0,10667	0,53336
k₂ = 2,0						
0,1	0,04330	0,08250	0,04125	0,00465	0,00878	0,00439
0,2	0,15325	0,28318	0,14159	0,01836	0,03454	0,01727
0,4	0,42077	0,70119	0,35060	0,06074	0,12954	0,06477
0,8	0,75683	0,06681	0,46341	0,23256	0,41187	0,20594
1,6	0,93447	0,70726	0,35363	0,56298	0,85930	0,42065
3,2	0,98801	0,33878	0,16939	0,88655	0,06353	0,48176
k₂ = 20,0						
0,1	0,04193	0,08044	0,04022	0,00117	0,01778	0,00089
0,2	0,14808	0,27574	0,13787	0,00484	0,07027	0,00351
0,4	0,40086	0,67174	0,33587	0,01799	0,26817	0,01341
0,8	0,69098	0,36191	0,43095	0,06476	0,01168	0,04558
1,6	0,79338	0,39588	0,10794	0,19803	2,38377	0,11919
3,2	0,85940	-0,41078	-0,20539	0,49238	4,47022	0,22351
k₂ = 200,0						
0,1	0,04160	0,07864	0,03932	0,00024	0,02515	0,00013
0,2	0,14676	0,26853	0,13426	0,00005	0,09968	0,00050
0,4	0,39570	0,64303	0,32152	0,00374	0,38497	0,00192
0,8	0,67257	0,74947	0,37474	0,01416	1,36766	0,00684
1,6	0,74106	-0,02761	-0,01381	0,04972	4,08937	0,02045
3,2	0,75176	-1,38545	-0,94273	0,15960	10,25631	0,05128

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

H = 0,5 k ₁ = 20,0						
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} -σ _{r1}	σ _{z1} -σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} -σ _{r2}	σ _{z2} -σ _{r3}
k₂ = 0,2						
0,1	0,03510	0,16526	0,00826	0,00596	0,00098	0,00488
0,2	0,05079	0,58918	0,02946	0,02361	0,00386	0,01929
0,4	0,16972	1,66749	0,08337	0,09110	0,01474	0,07369
0,8	0,47191	3,23121	0,16156	0,31904	0,04067	0,24834
1,6	0,97452	3,54853	0,17743	0,82609	0,11279	0,56395
3,2	1,09911	1,27334	0,06367	1,08304	0,09527	0,47637
k₂ = 2,0						
0,1	0,01122	0,17997	0,00900	0,00259	0,00440	0,00220
0,2	0,04172	0,64779	0,03239	0,01028	0,01744	0,00872
0,4	0,13480	1,89817	0,09491	0,03908	0,06722	0,03361
0,8	0,35175	4,09592	0,20480	0,14419	0,23478	0,11738
1,6	0,70221	6,22002	0,31100	0,42106	0,62046	0,31023
3,2	0,97420	5,41828	0,27091	0,82256	0,93831	0,46916
k₂ = 20,0						
0,1	0,00990	0,19872	0,00994	0,00063	0,00911	0,00046
0,2	0,03648	0,72264	0,03613	0,00251	0,03620	0,00181
0,4	0,11448	2,19520	0,10976	0,00988	0,14116	0,00706
0,8	0,27934	5,24726	0,26236	0,03731	0,51585	0,02579
1,6	0,50790	10,30212	0,51511	0,12654	1,59341	0,07967
3,2	0,70903	16,38520	0,81926	0,35807	3,60109	0,18455
k₂ = 200,0						
0,1	0,00960	0,21440	0,01072	0,00013	0,01355	0,00007
0,2	0,03526	0,78493	0,03925	0,00054	0,05395	0,00027
0,4	0,10070	2,44430	0,12221	0,00214	0,21195	0,00106
0,8	0,26149	6,23424	0,31172	0,00831	0,79588	0,00398
1,6	0,45078	14,11490	0,70574	0,03070	2,87578	0,01338
3,2	0,57074	29,95815	1,49791	0,10470	7,61457	0,03607

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

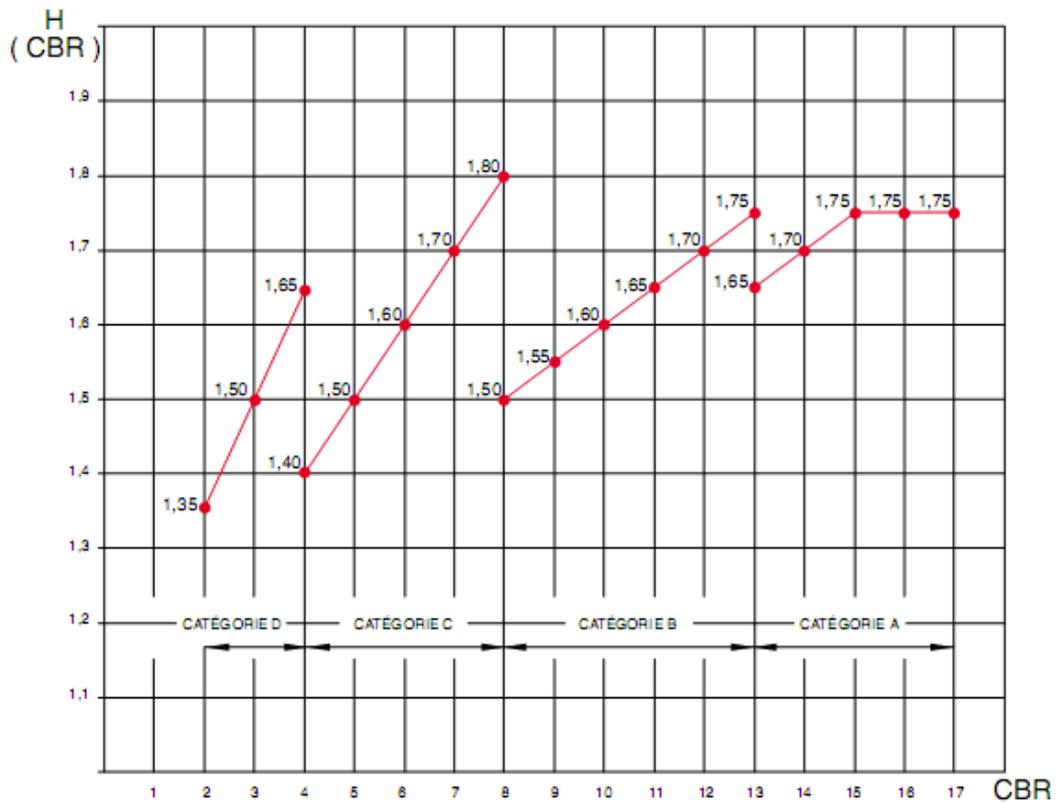
H = 1,0 k ₁ = 2,0						
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} -σ _{r1}	σ _{z1} -σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} -σ _{r2}	σ _{z2} -σ _{r3}
k₂ = 0,2						
0,1	0,01241	0,02186	0,01093	0,00490	0,00096	0,00478
0,2	0,04816	0,08396	0,04198	0,01943	0,00378	0,01890
0,4	0,17203	0,28866	0,14433	0,07496	0,01448	0,07241
0,8	0,48612	0,71684	0,35842	0,26193	0,04924	0,24620
1,6	0,91312	0,97206	0,48603	0,67611	0,11558	0,57790
3,2	1,04671	0,80091	0,30046	0,95985	0,12527	0,62637
k₂ = 2,0						
0,1	0,01083	0,02179	0,01090	0,00241	0,00453	0,00227
0,2	0,04176	0,08337	0,04160	0,00958	0,01797	0,00899
0,4	0,14665	0,28491	0,14246	0,03724	0,06934	0,03467
0,8	0,39942	0,71341	0,35670	0,13401	0,24250	0,12125
1,6	0,71032	1,03680	0,51340	0,38690	0,63631	0,31815
3,2	0,92112	0,90482	0,45241	0,75805	0,97509	0,48754
k₂ = 20,0						
0,1	0,00063	0,02240	0,01124	0,00061	0,00920	0,00046
0,2	0,03697	0,08618	0,04309	0,00241	0,03654	0,00183
0,4	0,12805	0,29640	0,14820	0,00950	0,14241	0,00712
0,8	0,33263	0,76292	0,38146	0,03578	0,51815	0,02591
1,6	0,52721	1,25168	0,62584	0,12007	1,56503	0,07825
3,2	0,65530	1,70723	0,85361	0,33669	3,51128	0,17556
k₂ = 200,0						
0,1	0,00925	0,02339	0,01170	0,00013	0,01319	0,00007
0,2	0,03561	0,09018	0,04509	0,00051	0,05252	0,00026
0,4	0,12348	0,31470	0,15735	0,00202	0,20600	0,00103
0,8	0,31422	0,83274	0,41637	0,00783	0,76955	0,00385
1,6	0,46897	1,53521	0,76760	0,02874	2,53100	0,01265
3,2	0,51161	2,76420	1,38210	0,09751	6,99283	0,03496

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

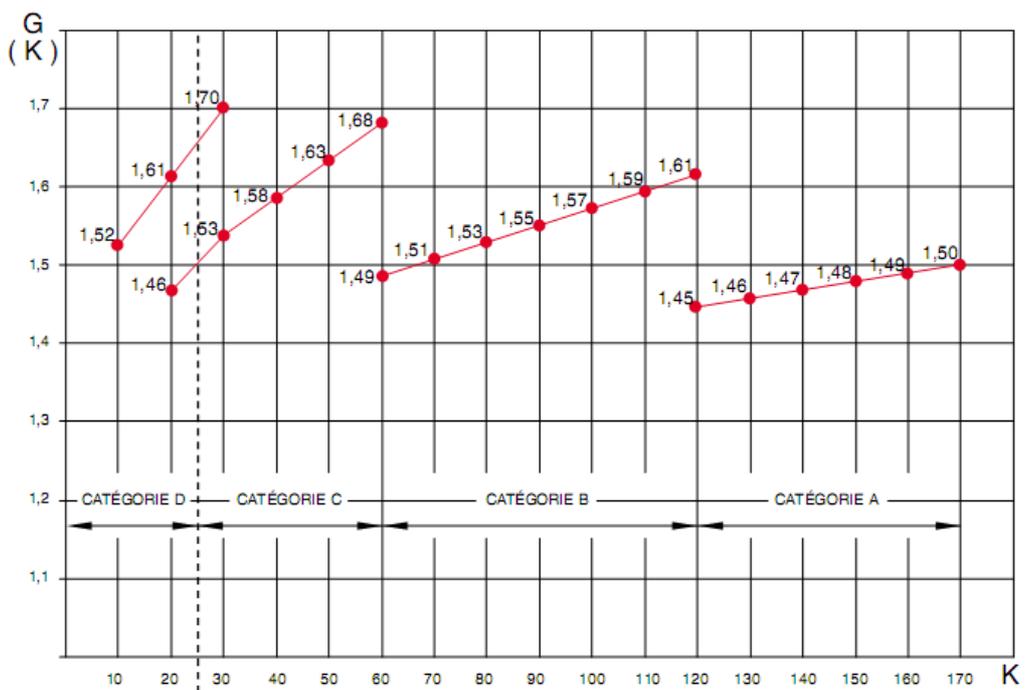
H = 1,0 k ₁ = 20,0							
A ₁	σ _{z1}	σ _{z1} ·σ _{r1}	σ _{z1} ·σ _{r2}	σ _{z2}	σ _{z2} ·σ _{r2}	σ _{z2} ·σ _{r3}	
							k₂ = 0,2
0,1	0,00417	0,04050	0,00202	0,00271	0,00039	0,00195	
0,2	0,01641	0,15675	0,00784	0,01080	0,00155	0,00777	
0,4	0,06210	0,55548	0,02777	0,04241	0,00606	0,03028	
0,8	0,21057	1,53667	0,07683	0,15808	0,02198	0,10991	
1,6	0,58218	2,77359	0,13868	0,49705	0,06327	0,31635	
3,2	1,06296	2,55195	0,12760	1,00217	0,09906	0,49525	
							k₂ = 2,0
0,1	0,00263	0,04751	0,00238	0,00100	0,00180	0,00080	
0,2	0,01029	0,18481	0,00924	0,00397	0,00637	0,00319	
0,4	0,03810	0,66727	0,03336	0,01565	0,02498	0,01249	
0,8	0,12173	1,97428	0,09871	0,05938	0,09268	0,04634	
1,6	0,31575	4,37407	0,21870	0,20098	0,29253	0,14626	
3,2	0,66041	6,97695	0,34885	0,53398	0,65446	0,32723	
							k₂ = 20,0
0,1	0,00193	0,05737	0,00287	0,00024	0,00322	0,00016	
0,2	0,00751	0,22418	0,01121	0,00098	0,01283	0,00064	
0,4	0,02713	0,82430	0,04121	0,00387	0,05063	0,00253	
0,8	0,08027	2,59672	0,12984	0,01507	0,19267	0,00963	
1,6	0,17961	6,77014	0,33851	0,05549	0,66326	0,03316	
3,2	0,34355	15,23252	0,76163	0,18344	1,88634	0,09432	
							k₂ = 200,0
0,1	0,00176	0,06733	0,00337	0,00006	0,00478	0,00002	
0,2	0,00683	0,26401	0,01320	0,00022	0,01908	0,00010	
0,4	0,00244	0,98346	0,04917	0,00088	0,07557	0,00038	
0,8	0,06983	3,23164	0,16158	0,00348	0,29194	0,00146	
1,6	0,14191	9,28148	0,46407	0,01339	1,05385	0,00527	
3,2	0,22655	24,85236	1,24262	0,04911	3,37605	0,01688	

IV- ABAQUES PARTICIPANT AU CALCUL FORFAITAIRE DU PCN

Pour les chaussées souples



Pour les chaussées rigides



C-SOUS-DETAIL DE PRIX

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

Prix n° 201									Rendement R = 3 500m ² /j
Désherbage et débroussaillage									
Désignation	U	Quantité	Coût directs						Total
			U	Quantité	PU	MTRL	MO	MTRO	
1-MATERIEL									
Camion à benne	U	1	J	2	288 000	576 000			
Pelle chargeuse	U	1	J	1	340 000	340 000			
Bull D6	U	1	J	1	420 000	420 000			
1 336 000									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,2	20 000		4 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Conducteur d'engin	Hj	2	J	1	5 000		10 000		
Chauffeurs	Hj	2	J	1	5 000		10 000		
32 900									
							Déboursé D = 1 368 900		
							PU = K*D/R = 548		
							PU arrondi = 550		

Prix n° 202									Rendement R = 200 m ³ /j
Remblais d'emprunt									
Désignation	U	Quantité	Coût directs						Total
			U	Quantité	PU	MTRL	MO	MTRO	
1-MATERIEL									
Camion à benne	U	4	J	1	288 000	1 152 000			
Pelle chargeuse	U	1	J	0,5	340 000	170 000			
Niveleuse	U	1	J	1	992 000	992 000			
Compacteur à jante lisse	U	3	J	1	498 000	498 000			
Camion arroseur	U	1	J	0,5	312 000	156 000			
3 964 000									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,2	20 000		4 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Ouvrier spécialisé	Hj	2	J	1	5 000		10 000		
Manœuvre	Hj	5	J	1	4 000		20 000		
Conducteur d'engin	Hj	3	J	1	5 000		15 000		
Chauffeurs	Hj	5	J	1	5 000		25 000		
82 900									
3-MATERIAUX									
Remblais d'emprunt	m ³	1	m ³	120	4 000			480 000	
480 000									
							Déboursé D = 4 526 900		
							PU = K*D/R = 22 635		
							PU arrondi = 22 640		

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

Prix n° 301									Rendement R = 150 T/j	
Béton Bitumineux 0/14										
Désignation	U	Quantité	Coût directs						Total	
			U	Quantité	PU	MTRL	MO	MTRO		
1-MATERIEL										
Finisseur	U	1	J	1	1 800 000	1 800 000				
Camion à benne	U	6	J	1	288 000	1 728 000				
Compacteur à jante lisse	U	2	J	0,8	498 000	398 400				
Compacteur pneumatique	U	1	J	0,8	800 000	640 000				
4 566 400										
2-MAIN D'OEUVRE										
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,25	20 000		5 000			
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500			
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400			
Ouvrier spécialisé	Hj	5	J	1	5 000		25 000			
Manœuvre	Hj	16	J	1	4 000		64 000			
Conducteur d'engin	Hj	4	J	1	5 000		20 000			
Chauffeurs	Hj	6	J	1	5 000		30 000			
152 900										
3-MATERIAUX										
Remblais d'emprunt	T	1	T	150	145 000			21 750 000		
21 750 000										
							Déboursé D = 26 469 300			
							PU = K*D/R = 247 047			
							PU arrondi = 247 050			

Prix n° 302									Rendement R = 3 300 m ² /j	
Cut-back 0/1										
Désignation	U	Quantité	Coût directs						Total	
			U	Quantité	PU	MTRL	MO	MTRO		
1-MATERIEL										
Camion épandeur	U	1	J	1	640 000	640 000				
Outils	Fft	1	J	1	10 000	10 000				
650 000										
2-MAIN D'OEUVRE										
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,2	20 000		4 000			
Chef de Chantier	Hj	1	J	1	7 000		7 000			
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400			
Ouvrier spécialisé	Hj	1	J	1	5 000		5 000			
Manœuvre	Hj	1	J	8	4 000		32 000			
Conducteur et Chauffeur	Hj	1	J	1	5 000		5 000			
58 400										
3-MATERIAUX										
Cut-back 0/1	kg	1,2	kg	3 300	1 587			6 284 520		
6 284 520										
							Déboursé D = 6 992 920			
							PU = K*D/R = 2 909,39			
							PU arrondi = 2 910			

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

Prix n° 303									Rendement
Cut-back 400/600									R = 3 300 m ² /j
Désignation	U	Quantité	Coût directs			MTRL	MO	MTRO	Total
			U	Quantité	PU				
1-MATERIEL									
Camion épandeur	U	1	J	1	640 000	640 000			
Outils	Fft	1	J	1	10 000	10 000			
650 000									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,2	20 000		4 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	1	7 000		7 000		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Ouvrier spécialisé	Hj	1	J	1	5 000		5 000		
Manœuvre	Hj	1	J	8	4 000		32 000		
Conducteur et Chauffeur	Hj	1	J	1	5 000		5 000		
58 400									
3-MATERIAUX									
Cut-back 400/600	kg	1,2	kg	3 300	1 587			6 284 520	
6 284 520									
							Déboursé D = 6 992 920		
							PU = K*D/R = 2 909,39		
							PU arrondi = 2 910		

Prix n° 304									Rendement
Grave Bitume									R = 250 T/j
Désignation	U	Quantité	Coût directs			MTRL	MO	MTRO	Total
			U	Quantité	PU				
1-MATERIEL									
Centrale d'enrobage	fft	1	J	1	1 000 000	1 000 000			
Camion à benne	U	6	J	1	288 000	1 728 000			
Niveleuse	U	2	J	0,7	992 000	1 388 800			
Compacteur à jante lisse	U	2	J	0,8	498 000	796 800			
4 913 600									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,25	20 000		5 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Ouvrier spécialisé	Hj	8	J	1	5 000		40 000		
Manœuvre	Hj	8	J	1	4 000		32 000		
Conducteur d'engin	Hj	4	J	1	5 000		20 000		
Chauffeurs	Hj	6	J	1	5 000		30 000		
135 900									
3-MATERIAUX									
Remblais d'emprunt	T	1	T	250	100 220			25 055 000	
25 055 000									
							Déboursé D = 30 104 500		
							PU = K*D/R = 168 585		
							PU arrondi = 168 590		

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

Prix n° 305									Rendement R = 110 m ³ /j
Couche de base en GCNT 0/31⁵									
Désignation	U	Quantité	Coût directs			MTRL	MO	MTRO	Total
			U	Quantité	PU				
1-MATERIEL									
Camion à benne	U	5	J	1	288 000	1 440 000			
Camion à citerne	U	1	J	1	312 000	312 000			
Compacteur mixte	U	1	J	0,3	610 000	183 000			
Niveleuse	U	1	J	0,5	992 000	496 000			
Plaque vibrante	U	1	J	0,3	95 000	47 500			
Outils	fft	1	J	1	10 000	10 000			
2 488 500									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,5	20 000		10 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	1	7 000		7 000		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Ouvrier spécialisé	Hj	4	J	1	5 000		20 000		
Manceuvre	Hj	10	J	1	4 000		40 000		
Conducteur d'engin	Hj	4	J	1	5 000		20 000		
Chauffeurs	Hj	5	J	1	5 000		25 000		
127 400									
3-MATERIAUX									
GCNT 0/31 ⁵	T	1	T	110	30 710			3 378 100	
3 378 100									
							Déboursé D = 5 994 000		
							PU = K*D/R = 69 930		
							PU arrondi = 69 930		

Prix n° 312									Rendement R = 25 m ² /j
Engazonnement									
Désignation	U	Quantité	Coût directs			MTRL	MO	MTRO	Total
			U	Quantité	PU				
1-MATERIEL									
Camion	U	1	J	1	288 000	288 000			
Outils	Fft	1	J	1	5 000	5 000			
293 000									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,2	20 000		4 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Ouvrier spécialisé	Hj	2	J	1	5 000		10 000		
Manceuvre	Hj	1	J	1	4 000		4 000		
Conducteur d'engin	Hj	1	J	1	5 000		5 000		
Chauffeurs	Hj	1	J	1	5 000		5 000		
36 900									
3-MATERIAUX									
Gazon	m ²	1	m ²	25	920		23 000		
23 000									
							Déboursé D = 352 900		
							PU = K*D/R = 13 724		
							PU arrondi = 13 730		

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

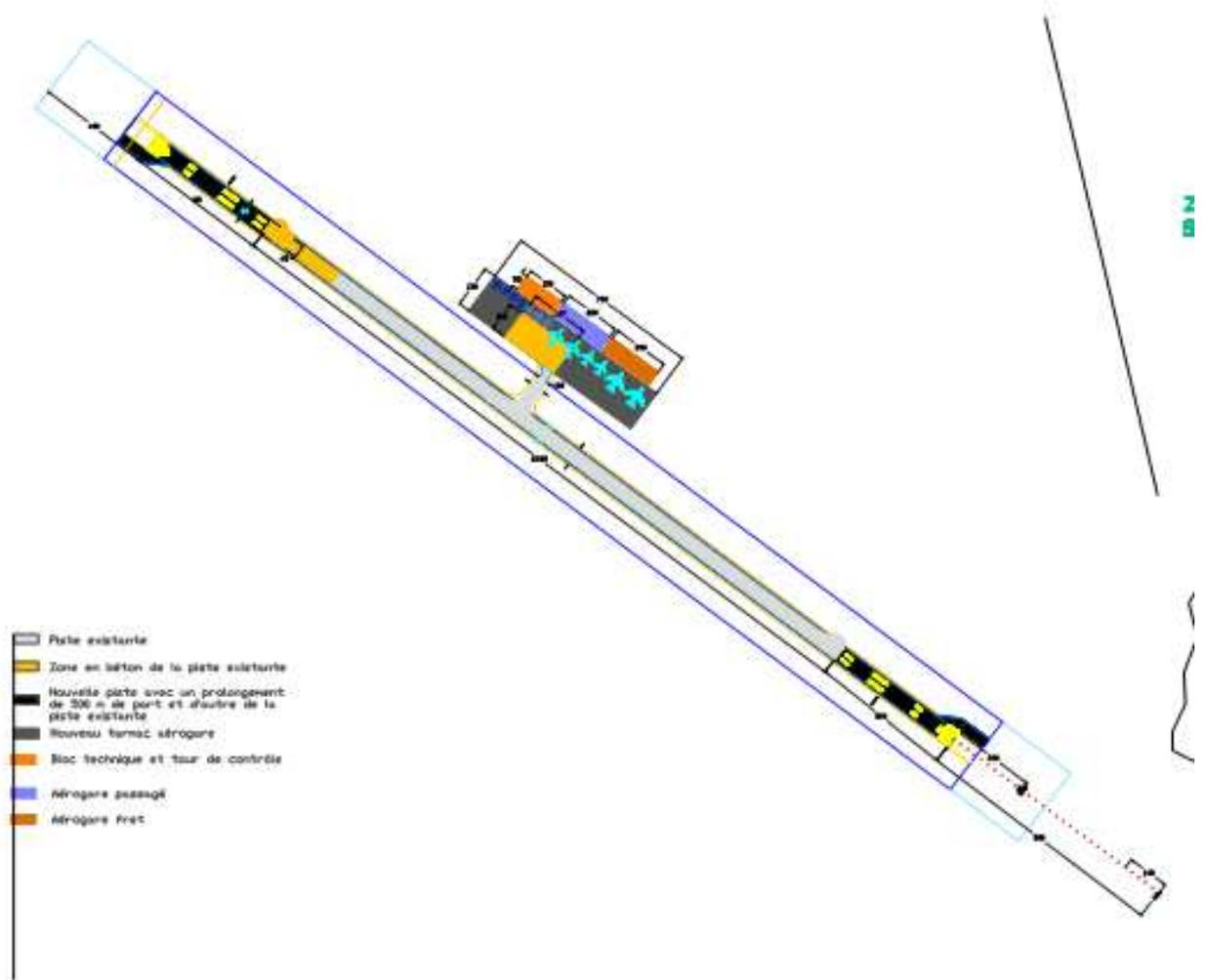
Prix n° 401									Rendement R = 50 m ³ /j
CR en Béton de Ciment Q350									
Désignation	U	Quantité	Coût directs			MTRL	MO	MTRO	Total
			U	Quantité	PU				
1-MATERIEL									
Bétonnière	U	5	J	1	100 000	500 000			
Camion citerne	U	1	J	1	312 000	312 000			
Pervibrateur	U	3	J	1	70 000	210 000			
1 022 000									
2-MAIN D'OEUVRE									
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,2	20 000		4 000		
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500		
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400		
Ouvrier spécialisé	Hj	10	J	1	5 000		50 000		
Manœuvre	Hj	25	J	1	4 000		100 000		
Chauffeurs	Hj	6	J	1	5000		30 000		
192 900									
3-MATERIAUX									
Gravillon 5/15 et 15/25	m ³		m ³	40	28 100			1 124 000	
Ciment	kg		kg	175 000	440			7 700 000	
Sable	m ³		m ³	20	10 000			200 000	
Eau	m ³		m ³	9,5	800			7 600	
Néoprène	m ²		m ²	4,48	3 200			14 336	
Goujon en acier HA25 de 45 cm	kg		kg	139	6 540			909 060	
Planche 4x20 pour coffrage	U		U	30	1 300			39 000	
9 993 996									
							Déboursé D = 11 208 896		
							PU = K*D/R = 313 819		
							PU arrondi = 313 850		

Mémoire de fin d'études : ANNEXES

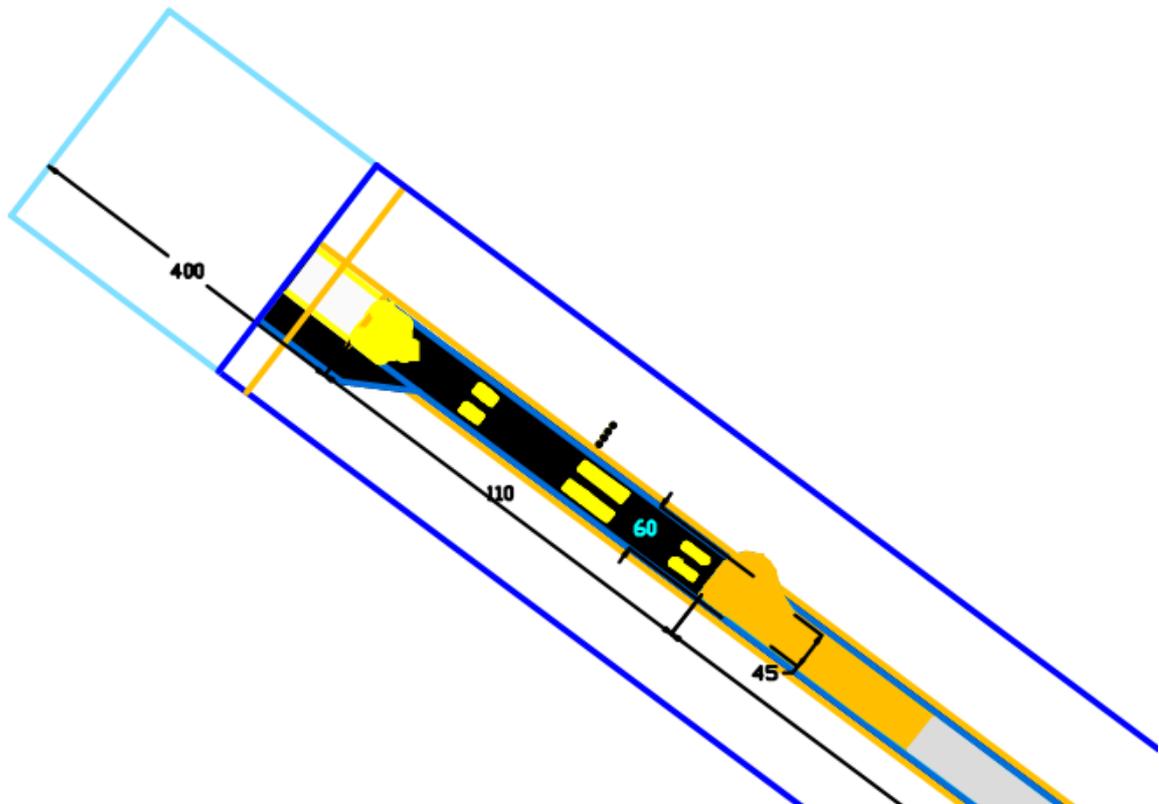
Prix n° 402									Rendement R = 650 m ³ /j	
CF en Grave Ciment										
Désignation	U	Quantité	Coût directs						Total	
			U	Quantité	PU	MTRL	MO	MTRO		
1-MATERIEL										
Camion à citerne	U	1	J	0,5	312 000	156 000				
Camion à benne	U	6	J	1	288 000	1 728 000				
Niveleuse	U	2	J	1	992 000	1 984 000				
Compacteur à jante lisse	U	3	J	1	498 000	1 494 000				
Bull D6	U	2	J	1	420 000	840 000				
6 202 000										
2-MAIN D'OEUVRE										
Conducteur de travaux	Hj	1	J	0,25	20 000		5 000			
Chef de Chantier	Hj	1	J	0,5	7 000		3 500			
Chef d'équipe	Hj	1	J	1	5 400		5 400			
Ouvrier spécialisé	Hj	1	J	1	5 000		5 000			
Manœuvre	Hj	4	J	1	4 000		16 000			
Conducteur d'engin	Hj	6	J	1	5 000		30 000			
Chauffeurs	Hj	7	J	1	5 000		35 000			
99 900										
3-MATERIAUX										
Eau	m ³		m ³	30	800			24 000		
Ciment (5%)	kg		kg	68 250	440			30 030 000		
GCNT 0/31 ⁵	m ³		m ³	650	28 300			18 395 000		
48 449 000										
							Déboursé D = 54 750 900			
							PU = K*D/R = 117 925			
							PU arrondi = 117 930			

D-PLAN

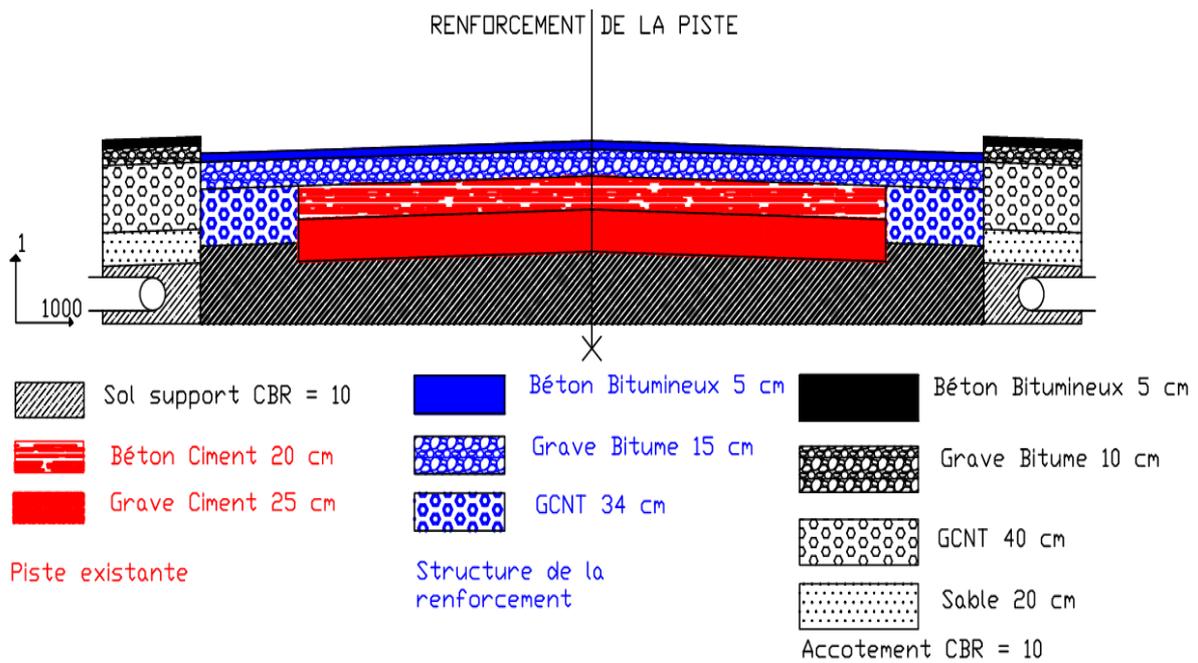
I- VUE GLOBAL DU PROJET



II- VUE EN PLAN ET STRUCTURE DU SEUIL 13

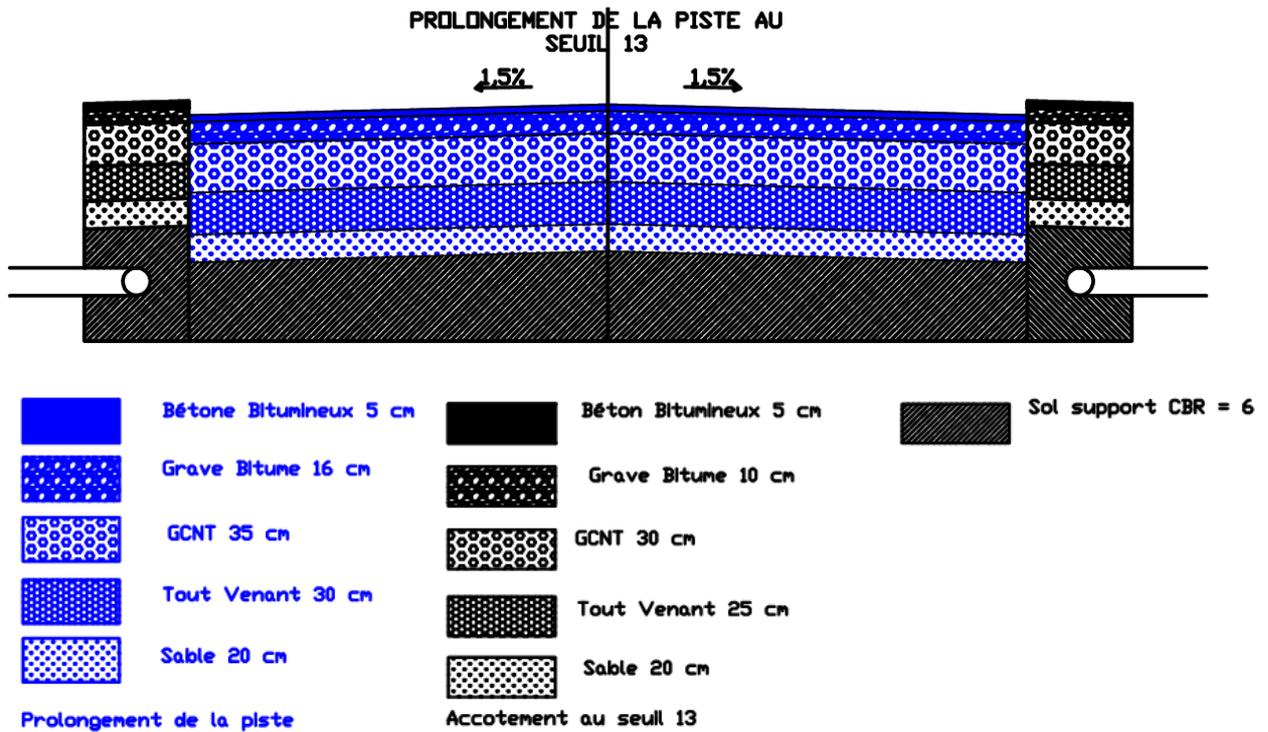


Renforcement de la chaussée rigide

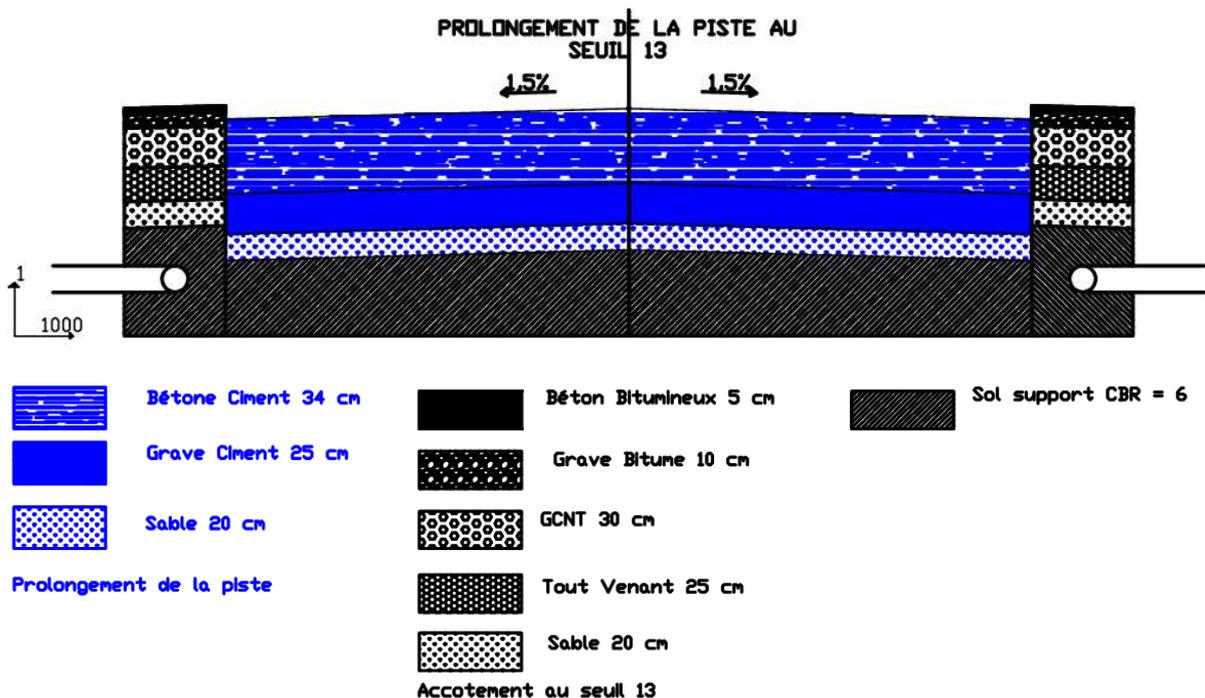


Prolongement de la piste

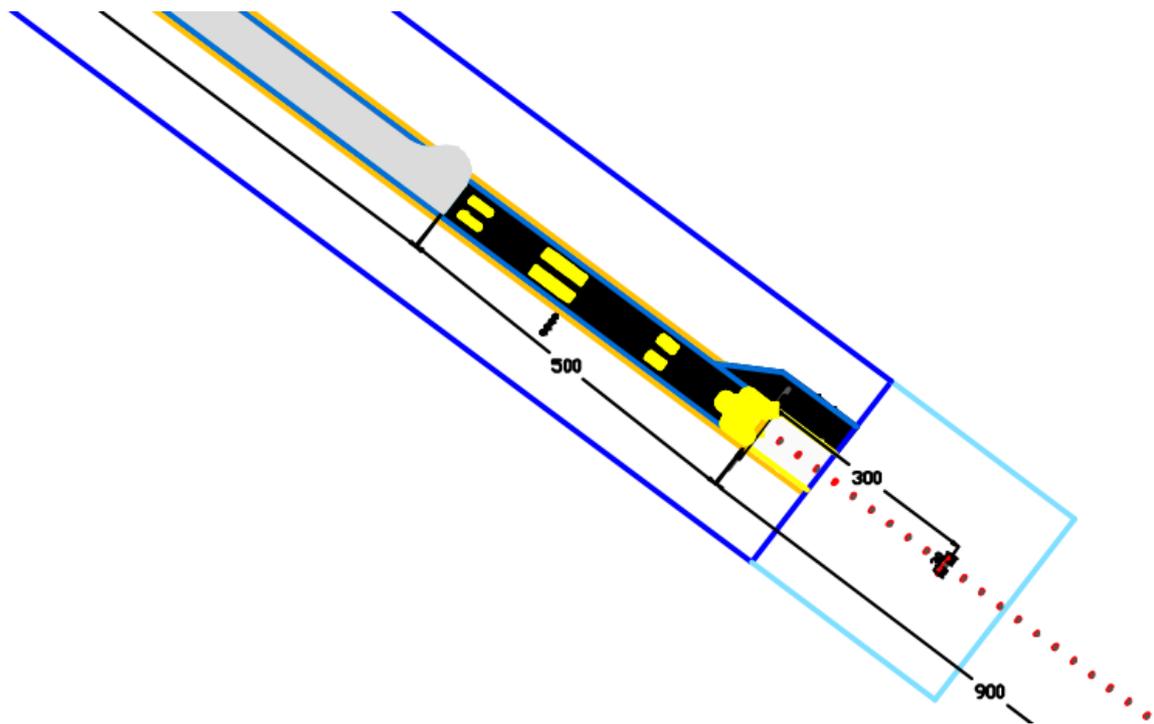
- En chaussée souple



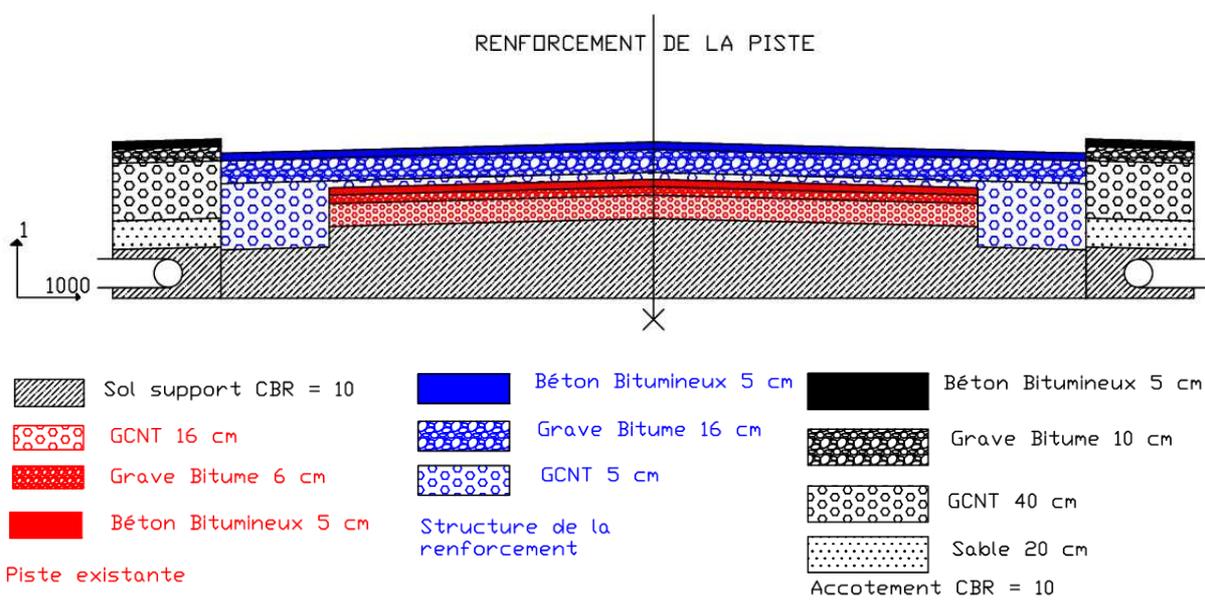
- En chaussée rigide



III- VUE EN PLAN ET STRUCTURE DU SEUIL 31

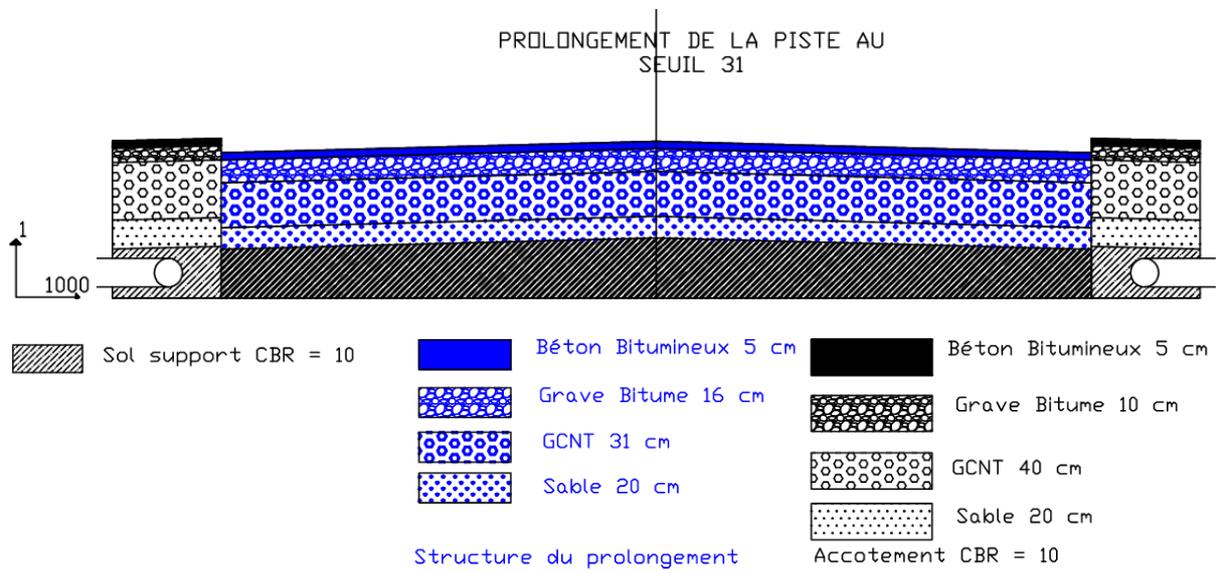


Renforcement de la chaussée souple

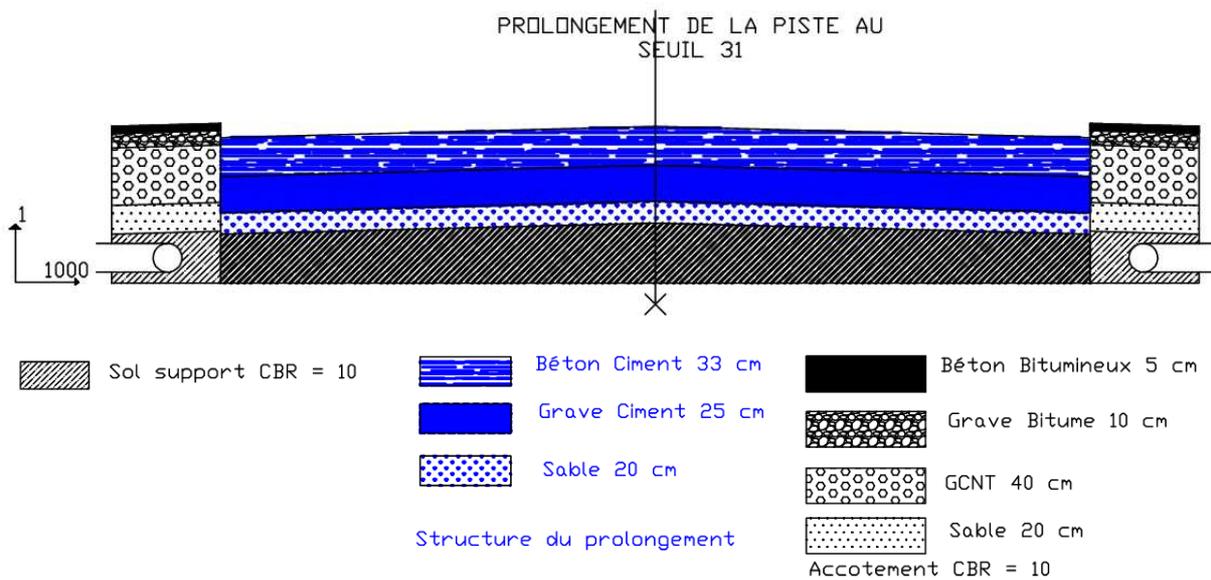


Prolongement de la piste

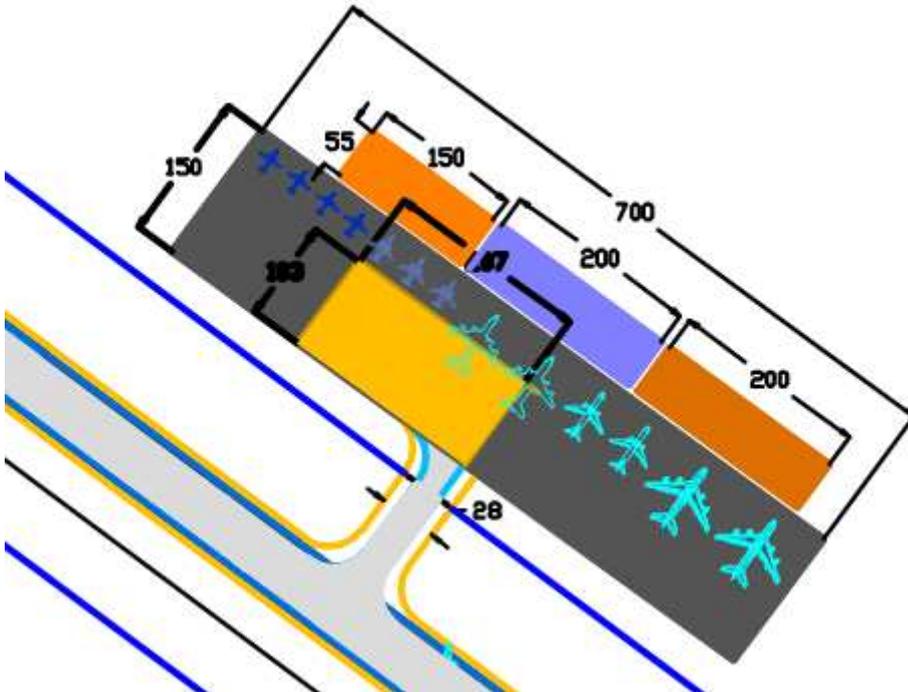
- En chaussée souple



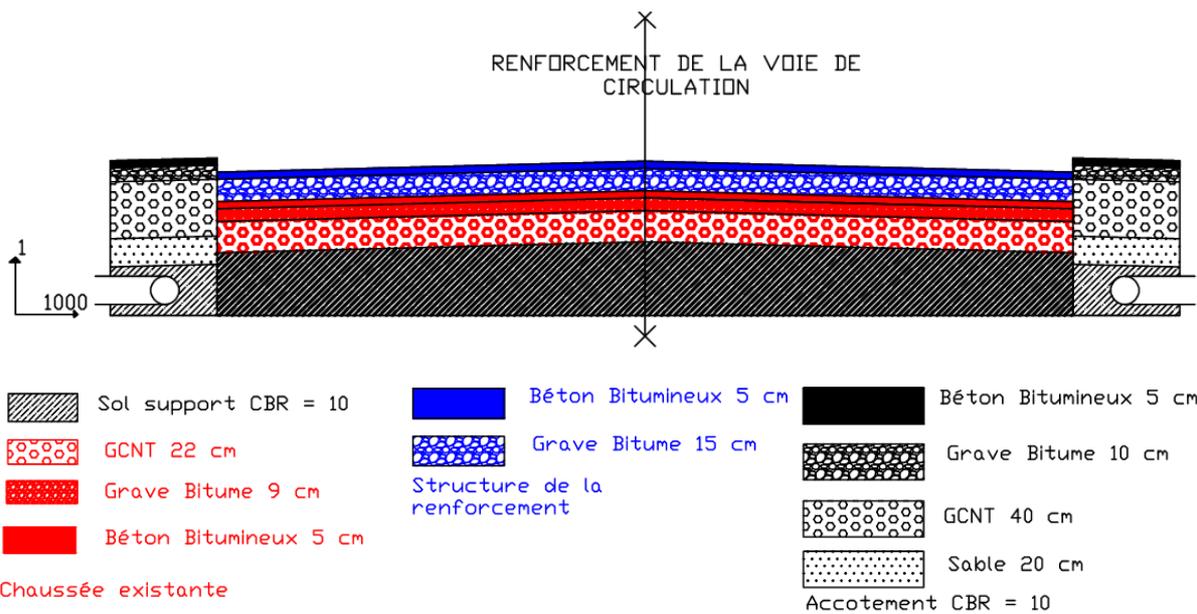
- En chaussée rigide



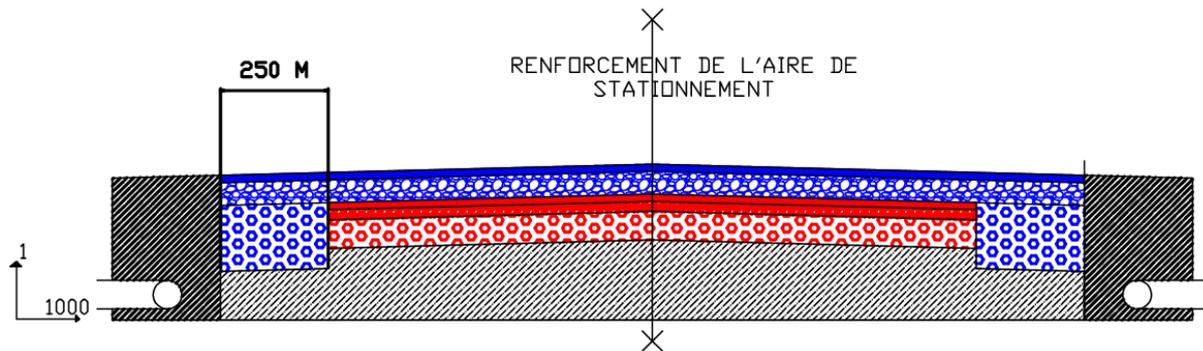
IV- VUE EN PLAN ET STRUCTURES DE LA VOIE DE CIRCULATION ET DE L'AIRE DE STATIONNEMENT

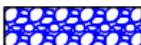


Structure de renforcement de la voie de circulation

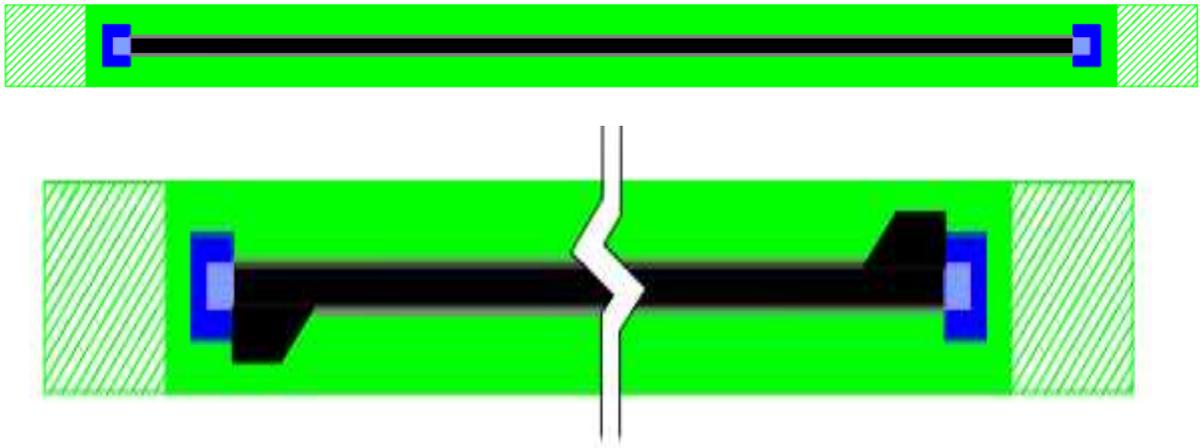


Structure de renforcement de l'aire de stationnement



- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  Sol support CBR = 10 |  Béton Bitumineux 5 cm |
|  GCNT 20 cm |  Gravel Bitume 16 cm |
|  Gravel Bitume 7 cm |  GCNT 36 cm |
|  Béton Bitumineux 5 cm | Structure de la renforcement |
- Piste existante

V- VUE EN PLAN DE LA PERIPHERIQUE DE LA PISTE



légendes :

-  Piste de 3610 x 60 m
-  Accotement de 3610 x 7,5 m
-  Prolongement d'arrêt de 60 x 60 m
-  Prolongement dégagés de 100 x 150 m
-  Bande de piste de 3930 x 300 m
-  RESA de 300 x 300 m
-  Aire de demi-tour 120 x 45 m

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	3
SOMMAIRE	4
LISTE DES TABLEAUX	5
LISTE DES FIGURES	8
LISTE DES ABREVIATIONS	9
LISTE DES NOTATIONS	10
INTRODUCTION	11
Partie I : GENERALITES ET ETUDES PRELIMINAIRES	1
Chapitre I : GENERALITES	2
I- DEFINITIONS DES TERMES PRINCIPAUX	2
II- APERCU SUR LES ELEMENTS DE RENSEIGNEMENT SUR LES AERODROMES	3
1. Aire de mouvement	3
2. Zone des installations	7
III- LES AIDES VISUELLES A LA NAVIGATION ET LES DIFFERENTS TYPES D'APPROCHE DANS LES AERODROMES	8
1. Les aides visuelles à la navigation	8
2. Les différents types d'approche	9
IV- LES EQUIPEMENTS METEOROLOGIQUES	10
1. Paramètres à mesurer	10
2. Mesure de visibilité horizontale	11
3. Télémètre de nuages	11
V- LES CLASSIFICATIONS ET CODE DE REFERENCE DES AERODROMES	11
1. Notion de classification des aérodromes	11
2. Classification française	13
3. Code de référence de l'Aérodrome	15
CONCLUSION PARTIELLE	17
Chapitre II : LA PISTE ET SES PERIPHERIQUES	18
I- DECOLLAGE ET ATERRISSAGE	18
1. Décollage	18
2. Distance accélération-arrêt	19
3. Atterrissage	19
II- LA PISTE	20
1. Définition	20
2. Différents types de piste	20
3. Nombre, orientation et implantation d'une piste	21
4. Longueur de piste	23
5. Coefficient de correction des longueurs de pistes	24

6.	<i>Largueur de piste</i>	26
7.	<i>Principales caractéristiques géométriques d'une piste</i>	26
III-	BANDE DE PISTE	28
1.	<i>Longueur de la bande de piste</i>	28
2.	<i>Largueur de la bande de piste</i>	28
3.	<i>Longueur et largeur de la bande aménagée</i>	28
4.	<i>Principales caractéristiques géométriques des bandes de pistes</i>	30
5.	<i>Cas particuliers d'une bande composite</i>	31
IV-	LES VOIES DE CIRCULATION	32
1.	<i>Tracé des voies de circulation, Rayon de courbure</i>	32
2.	<i>Intersections, Congés</i>	32
3.	<i>Largeur des voies de circulation</i>	33
	CONCLUSION PARTIELLE	35
	Chapitre III : PRESENTATION GENERALE DU PROJET	36
I-	MONOGRAPHIE DES ZONES D'INFLUENCE	36
1.	<i>Présentation globale</i>	36
2.	<i>Situation sociale</i>	38
3.	<i>Situation économique</i>	39
4.	<i>Tourismes</i>	40
II-	ENVIRONNEMENT GEOGRAPHIQUE D'ANTSIRANANA	41
1.	<i>Géologie</i>	41
2.	<i>Climat de la baie de Diégo-Suarez</i>	41
III-	HISTORIQUE DE L'AERODROME D'ANDRAKAKA	43
IV-	GEOGRAPHIE ET CARACTERISTIQUES DE L'AERODROME	44
1.	<i>Localisation</i>	44
2.	<i>Les infrastructures aéroportuaires</i>	44
3.	<i>Surface de limitation d'obstacle</i>	45
V-	ETUDE ET PREVISION DES TRAFICS	48
1.	<i>Etude des trafics</i>	48
2.	<i>Prévision des trafics</i>	51
	CONCLUSION PARTIELLE	59
	PARTIE II : ANALYSE TECHNIQUE ET PROPOSITION DE SOLUTIONS	60
	Chapitre I : LES CHAUSSEES AERONAUTIQUES	61
I-	DEFINITIONS	61
1.	<i>Chaussées souples</i>	61
2.	<i>Chaussées rigides</i>	62
3.	<i>Comparaison entre les chaussées souples et rigides</i>	63

4. Particularités des chaussées aéronautiques par rapport aux chaussées routières.....	64
II- LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UNE CHAUSSEE	66
1. La chaussée souple	66
2. La chaussée rigide.....	67
CONCLUSION PARTIELLE	70
Chapitre II : METHODES DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSES AERONAUTIQUES	71
I- DIMENSIONNEMENTS DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES NEUVES	71
1. Dimensionnement forfaitaire	71
2. Dimensionnement optimisé	82
II- RENFORCEMENT DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES	84
1. Renforcement des chaussées souples	85
2. Renforcement des chaussées rigides.....	85
III- METHODE DE VERIFICATION DES CONTRAINTES.....	87
1. Modèle tri couche	87
2. Conversion d'un système multicouche	89
3. Hypothèses de calcul de solution de Jones	90
IV- CALCUL DES CHARGES ADMISSIBLES D'UNE CHAUSSE PAR LA METHODE ACN/PCN	91
1. Définitions	91
2. Principe de calcul de l'A.C.N.	91
3. Détermination du PCN.....	93
CONCLUSION PARTIELLE	96
Chapitre III : DIMENSIONNEMENT	97
I- ETAT DES LIEUX.....	97
1. Aire de mouvement	97
2. Envergure de la piste d'envol	97
3. Sondages	98
II- CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA NOUVELLE PISTE	99
1. Longueur de la piste	99
2. Limitation d'obstacle de l'aérodrome	101
3. Largeur de piste	105
4. Accotements	105
5. Prolongement dégagé (CWY) et prolongement d'arrêt (SWY)	106
6. La bande.....	106
7. L'aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA)	106
8. La raquette de retournement	106
III- LES AIDES VISUELLES A LA NAVIGATION	108
1. Indicateur de vent	108

2. <i>Marque de la piste</i>	108
3. <i>Marque de voie de circulation</i>	110
CONCLUSION PARTIELLE	116
Chapitre IV : RENFORCEMENT DE LA CHAUSSE	117
I- DETERMINATION DES PARAMETRES DE CALCUL	117
1. <i>Les atterrisseurs de l'avion critique</i>	117
2. <i>Caractéristiques des chaussées souples</i>	120
3. <i>Calcul de PCN/ACN</i>	121
II- DIMENSIONNEMENT DE RENFORCEMENT DE LA CHAUSSE SOUPLE	122
1. <i>Calcul de la charge sur Roue Simple Equivalente (RSE)</i>	122
2. <i>Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire</i>	125
3. <i>Calcul de l'épaisseur de renforcement</i>	125
III- DIMENSIONNEMENT DE RENFORCEMENT DE LA CHAUSSEE RIGIDE	128
IV- VERIFICATION DES CONTRAINTES	130
1. <i>Conversion des structures multicouches en structure tri couche</i>	130
2. <i>Calcul des contraintes</i>	131
V- DETERMINATION DU PCN PUBLIE	133
1. <i>PCN publié de la piste d'envol</i>	133
2. <i>PCN publié de l'aire de stationnement</i>	134
3. <i>PCN publié de la voie de circulation</i>	134
4. <i>PCN publié de la chaussée rigide renforcée</i>	134
CONCLUSION PARTIELLE	135
Chapitre V : PROLONGEMENT DE LA PISTE	136
I- ELEMENTS NECESSAIRE POUR LE DIMENSIONNEMENT DE LA NOUVELLE CHAUSSEE	136
1. <i>Structure possible de la nouvelle chaussée</i>	136
2. <i>Mouvement des avions</i>	136
3. <i>Caractéristiques des avions</i>	137
4. <i>Caractéristiques des chaussées et du sol support</i>	138
II- DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE SOUPLE	138
1. <i>Dimensionnement des trente mètres centraux de la piste</i>	139
2. <i>Dimensionnement des accotements et des périphériques de la piste</i>	142
III- DIMENSIONNEMENT DE LA STRUCTURE RIGIDE	144
1. <i>Paramètres de calcul</i>	145
2. <i>Calcul de l'épaisseur de la dalle de béton</i>	146
IV- VERIFICATION DES CONTRAINTES	147
1. <i>Transformation de la structure multicouche en structure tri couche</i>	147
2. <i>Calcul des contraintes</i>	149

V- DETERMINATION DU PCN PUBLIE	151
1. Calcul de PCN de la chaussée souple	151
2. Calcul de la PCN de la chaussée rigide	152
3. Récapitulation des calculs de PCN	153
CONCLUSION PARTIELLE	154
Chapitre VI : ASSAINISSEMENT	155
I- GENERALITES	155
II- ETATS DES LIEUX	155
III- PROPOSITION DE SOLUTION D'AMENAGEMENT	155
IV- DIMENSIONNEMENT DES DRAINS	156
1. Calcul de débit à évacuer	156
2. Calcul hydraulique de tuyau de drainage et de la pente de la tranchée	159
3. Calcul de nombre de drains et nombre de puisards	161
CONCLUSION PARTIELLE	162
PARTIE III : ETUDE ECONOMIQUE ET ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	163
Chapitre I : EVALUATION DU COUT DES TRAVAUX	164
I- LE DEVIS DESCRIPTIF	164
II- LE DEVIS QUANTITATIF	170
1. Travaux de renforcement d'une chaussée	170
2. Travaux de prolongement d'une chaussée	172
III- BORDEREAU DE DETAIL ESTIMATIF (B.D.E.)	176
1. B.D.E chaussée souple	176
2. B.D.E. Chaussée rigide	178
CONCLUSION PARTIELLE	180
Chapitre II : ETUDE DE RENTABILITE	181
I- VALEUR ACTUALISEE NETTE (VAN)	181
II- TAUX DE RENTABILITE INTERNE (TRI)	181
III- DELAIS DE RECUPERATION NORMALE	181
IV- RECETTES ET CHARGES AERONAUTIQUES	181
1. Recettes	181
2. Les dépenses	184
V- CALCUL DES RECETTES ET DES CHARGES	184
1. Recettes liées aux avions	184
2. Recettes liées à la cargaison	190
VII- CALCUL DE RENTABILITE	192
1. Chaussée souple	192
2. Chaussée rigide	193
CONCLUSION PARTIELLE	194
Chapitre III : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	195

I- ATTEINTES AUX MILIEUX NATURELS	195
II- IMPACTS SUR L'OCCUPATION DU SOL	196
III- IMPACTS LIES A LA DESSERTA DE L'AERODROME	196
IV- IMPACT VISUEL	197
V- BRUIT ENGENDRE PAR LES AEROPORTS	197
1. Bruit des aéronefs	197
2. Indice Lden	198
3. Plan d'exposition au bruit	199
4. Plan de gêne sonore	200
VI- IMPACTS SUR LA QUALITE DE L'AIR	203
VII- IMPACTS SUR LA QUALITE DES EAUX	206
VIII- GESTION DES DECHETS	207
IX- PRISE EN COMPTE DE L'ENVIRONNEMENT	207
CONCLUSION PARTIEL	209
CONCLUSION	210
ANNEXES.....	i
A- LES ELEMENTS D'UN AERODROME	ii
I- FRONT DES INSTALLATIONS ET ZONES TERMINALES PASSAGERS	iii
II- CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DE LA PERIPHERIQUE DE LA PISTE	ix
III- LES AIDES VISUELLES	xii
B-LES ABAQUES	xx
I- ABAQUES RELATIFS AUX AERONEFS (ABAQUE DE DIMENSIONNEMENT)	xxi
II- ABAQUE POUR LES CHAUSSEES RIGIDES	xxvi
III- ABAQUE DE JONES ET PEATIES	xxvii
IV- ABAQUES PARTICIPANT AU CALCUL FORFAITAIRE DU PCN	xxxv
C-SOUS-DETAIL DE PRIX	xxxvi
D-PLAN	xliii
I- VUE GLOBAL DU PROJET	xliv
II- VUE EN PLAN ET STRUCTURE DU SEUIL 13	xlvi
III- VUE EN PLAN ET STRUCTURE DU SEUIL 31	xlvii
IV- VUE EN PLAN ET STRUCTURES DE LA VOIE DE CIRCULATION ET DE L'AIRE DE STATIONNEMENT	xliv
V- VUE EN PLAN DE LA PERIPHERIQUE DE LA PISTE	li

Nom : RAMIARINTSOA

Prénoms : Andriatsarafara Michaël

Adresse : Lot A 168 Ter B Manarintsoa Anatihazo

Tél : 0330740166 / E-mail : ramiarintsoam@yahoo.fr



Titre : AMENAGEMENT DE L'AERODROME MILITAIRE D'ANDRAKAKA EN AERODROME INTERNATIONAL

Nombre de page : 212

Nombre de tableau : 116

Nombre de figure : 36

Annexes : 5

RESUME :

Avec ses 2 500 m de longueur et 45 m de largeur, l'Aérodrome d'Andrakaka appartient à la Catégorie B et de code de référence 1D. Pour pouvoir être classé dans la catégorie d'aérodrome international, il lui est nécessaire de supporter des types d'avion très contraignant comme l'A380-800. L'introduction de celle-ci exige, d'une part le renforcement de la piste d'envol, la voie de circulation et l'aire de stationnement, et d'autre part le prolongement de la chaussée de 1 110 m. Tout d'abord, pour le renforcement, on a choisi de faire un renforcement par une chaussée souple. Tandis que pour le prolongement, on a considéré deux variantes à savoir la chaussée souple et la chaussée rigide. Ensuite, pour exécuter brièvement le dimensionnement, on a utilisé la méthode forfaitaire pour le renforcement en chaussée souple et le prolongement de la structure rigide. Par contre, la méthode optimisée a été plus adéquate pour le dimensionnement du prolongement de la chaussée souple. Après cela le PCN a été trouvé à l'aide de la méthode approché et la vérification des contraintes a été déterminée avec l'abaque de JONES et PEATIES. Enfin, le calcul de TRI, à partir des recettes et charges, permet d'évaluer la rentabilité du projet.

Abstract:

With 2,500m of length and 45m of width, the Aerodrome of Andrakaka belongs to category B and the code of reference 1D. To be able to classify in category of international aerodrome, it is useful to withstand heavy planes such as A380-800. In addition the runway and the way of circulation even the parking areas have to be reinforced. Besides the road needs to be extended of 1,110m. First of all, for the reinforcement, the supple road has been chosen. Whereas for the extension, it is considered that there are two different of roads such as supple road and rigid road. After that to execute the measurement briefly, the fixed method is used to reinforce in supple road and the extension of rigid structure. Nevertheless, the optimistic method is more efficient in order to measure the extension of supple road. Moreover, the PCN has been found within approached method and the checking of constraints has been determined with the abacus of JONES and PEATIES. Finally, the calculation of TRI within receipts and expenses allows evaluating the profitability of the project.

Mots clés : renforcement, aérodrome, prolongement, piste d'envol, chaussée souple, chaussée rigide, atterrisseur, ACN, PCN

Encadreur : **RANDRIANTSIMBAZAFY Andrianirina**