

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département Génie Civil



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'Etat en génie civil

Thème

Etude de renforcement de l'aérodrome
d'Alger avec extension du taxiway
de la piste secondaire 09/27.

Dirigé par :

Mme. R.KETTAB
Mme. N.OUAIL

Présenté par :

Mr. Omar AIB
Mr. Brahim REFFIS

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

*Aux deux personnes les plus chers à mon cœur qui m'ont
poussé et encouragé à étudier et travailler*

Ma chère mère, l'exemple de l'amour et d'affection.

Mon cher père, symbole de courage et de patience.

A mon frère et mes sœurs et leurs familles.

*A tous mes amis d'étude et mes amis les plus proches et toute
la promotion 2011 de génie civil.*

A tous ceux que je porte dans mon cœur.

Brahim

Je dédie ce travail à :

Mes parents ;

Ma famille ;

Mes proches.

Omar

REMERCIEMENTS

La soutenance d'un mémoire de fin d'études signe la fin d'un chapitre dans la vie d'un ingénieur. Nous tenons à saisir cette occasion pour exprimer notre sincère reconnaissance et nos profonds remerciements.

En premier lieu nos remerciements s'adressent à Dr. R.KETTAB, notre promotrice, chef Département Génie Civil à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger. Tout au long de ce travail, elle a su nous apporter un soutien constant, une disponibilité, une écoute, une confiance et des conseils précieux et avisés à la hauteur de ses compétences et de ses réelles qualités humaines.

Nos remerciements s'adressent aussi à Mesdames N.OUAIL et ARIS, Monsieur A.ZOUANE ET Dr. M.ABDESSEMED de la Direction des Infrastructures Aéroportuaires, au Ministère des Travaux Publics qui ont encadré notre travail, nous ont guidés, encouragés et soutenus tout au long du déroulement de notre projet.

Aux spécialistes de la S.A.E.T.I, du C.T.T.P, le C.A.C.T et de la D.T.P pour les entretiens et les renseignements qu'ils ont bien voulu nous accorder et qui nous ont été d'un précieux concours.

Ils s'adressent aussi aux enseignants du Département Génie Civil de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, auxquels nous devons notre formation d'ingénieur.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont apporté leur soutien et à toutes les personnes qui de près ou de loin nous ont aidés et encouragés.

Omar et Brahim

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة تدعيم أرضية مطار الجزائر العاصمة مع تمديد مسلك تاكسيواي الخاص بالمدرج الثانوي 27/09. تتناول هذه الدراسة أولا حساب الأبعاد لجميع البنى التحتية للمطار بواسطة طريقة الحساب الأمثل بالنسبة للمدراج الأساسي والثانوي ثم الطريقة التقريبية بالنسبة لبقية البنى التحتية، لأجل الحصول على هيكل جديد.

في إطار استعمال التقنيات المبتكرة، سيتم عرض منتجات جديدة مثل الجيوسانتيتيك والمواد الزفتية ذات المعامل العالي بهدف تحسين حالة الهياكل وزيادة طول عمرها. و سيتم عرض مقترحات تجمع بين الحلول الكلاسيكية والحلول الجديدة. دراسة تقنية واقتصادية سوف تؤدي إلى اختيار المقترح الأكثر فعالية، يتم الانتهاء من هذه الدراسة بتقدير تكاليف التنفيذ.

الكلمات المفتاحية: الهياكل القاعدية المطار، حساب الأبعاد، التعب، المواد الزفتية ذات المعامل العالي، والمنتجات المبتكرة.

Résumé

Le but de ce travail consiste en l'étude du renforcement de l'aérodrome d'Alger avec extension du taxiway de la piste secondaire 09/27. Cette étude s'attaque d'abord au dimensionnement du renforcement de toutes les infrastructures aéroportuaires par la méthode optimisée pour les pistes principale et secondaire ensuite par la méthode forfaitaire pour le reste des infrastructures afin de reprendre une nouvelle structure.

Dans le sens de l'innovation, de nouveaux produits seront proposés tels les Enrobés à Module Elevé et les Géosynthétiques afin d'améliorer l'état des structures et augmenter leur durée de vie. Des propositions de variantes entre les solutions classiques et des solutions nouvelles seront données. Une étude technico-économique permettra de choisir la variante la plus rentable ; cette étude est complétée par des devis estimatifs des coûts de réalisation.

Mots clés : infrastructures aéroportuaires, dimensionnement, fatigue, enrobé à module élevé, produits innovants.

Abstract

The aim of this work is to study the strengthening of the airfield of Algiers with the extension of the taxiway of the secondary runway 09/27. This study addresses firstly a design of all the airport infrastructures by the optimized method for primary and secondary runways, then by the standard method for the rest of the infrastructures to have a new structure.

In the sense of innovation, new products will be proposed such as asphaltic materials with high modulus and Géosynthétiques, to improve the condition of structures and increase their life expectancy. Proposals for variants between classical solutions and new solutions are given. A techno-economic study will choose the most cost-effective proposition; this study is completed with estimation of realization costs.

Keywords: airport infrastructure, design, fatigue, asphaltic materials with high modulus, innovative products.

TABLE DES MATIERES

RESUME

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE I : PRESENTATION DU PROJET

I. 1. Introduction	1
I. 2. Présentation de l'aérodrome d'Alger	1
I. 3. Description de l'aérodrome	2
I. 3.1. Piste principale et ses annexes	2
I. 3.2. Piste secondaire et ses annexes	2
I. 3.3. Aires de stationnement	3
I. 4. Données de base de l'aérodrome	3
I. 4.1. Trafic	3
I. 4.2. Environnement et climatologie	4
I. 4.3. Géologie	5
I. 4.4. Géotechnique	5
I. 5. Conclusion	5

CHAPITRE II : DEGRADATION ET INSPECTION VISUELLE

II. 1. Introduction	6
II. 2. Dégradation de chaussées aéronautiques	6
II.2.1. Chaussées souples	6
II. 2.1.1. Famille des dégradations	6
II. 2.1.2. Famille des fissures	11
II. 2.1.3. Famille des arrachements	15
II.2.2. Chaussées rigides	17
II. 2.2.1. Dégradation de structure	17
II. 2.2.2. Dégradation de surface	21
II. 2.2.3. Dégradation de joints	22
II. 2.3. Indications complémentaires	25
II. 3. Dégradation de l'aérodrome d'Alger	26
II. 3.1. Méthodologie de travail	26
II. 3.2. Résultat de relevé	26

II. 3.2.1. Fissure	26
II. 3.2.2. Flache	29
II. 3.2.3. Autre type de dégradation	29
II. 3.3. Conclusion	32
II. 4. Inspection visuelle de l'aérodrome	32
II. 4.1. Définition	32
II. 4.2. La méthode de l'indice de service	33
II. 4.3. Méthodologie Algérienne de calcul de l'indice de service	35
II. 5. Conclusion	37

CHAPITRE III : AUSCULTATION

III. 1. Introduction	39
III. 2. Auscultation.....	39
III. 2.1. Contrôle de l'uni.....	39
III. 2.2. Contrôle de l'adhérence	40
III.2.3. Evaluation de la portance	41
III.2.3.1. Remorque de portance.....	41
III.2.3.2. Défectomètre à charge tombante ou HWD.....	42
III. 2.4. Géoradar	43
III. 3. Résultat d'auscultation de l'aérodrome d'Alger	45
III. 3.1. Introduction	45
III. 3.2. Présentations	45
III. 3.3. Mesure	46
III.3.3.1. piste principal 05/23	46
III.3.3.2. Taxiway 05/23	46
III.3.3.3. Piste secondaire 09/27	47
III.3.3.4. Taxiway 09/27	47
III. 3.2.5. Parkings	47
III. 4. Conclusion.....	48

CHAPITRE IV : ETUDE GEOTECHNIQUE

IV. 1. Introduction.....	49
IV. 2. Campagne de reconnaissance géotechnique	49
IV. 3. Résultats de la Campagne de reconnaissance géotechnique	51
IV. 3.1 Résultats des sondages carottés.....	51

IV.3.2	Résultats des puits à la tarière	52
IV. 3.3	Résultats des essais au pénétromètre statique	52
IV. 3.4	Résultats des essais en laboratoire sur des échantillons paraffinés	54
IV. 3.4.1	Essais physiques.....	54
IV. 3.4.2	Essais d'identification	55
IV. 3.4.3	Essais mécaniques.....	55
IV. 3.5	Résultats des essais sur des échantillons remaniés des puits	57
IV. 4.	Commentaires des résultats.....	57

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT

V. 1.	Introduction	59
V. 2.	Types de chaussées	59
V. 2.1.	Chaussées souples	59
V. 2.2.	Chaussées rigides.....	60
V. 3.	Méthodes de dimensionnements	60
V. 3.1.	Dimensionnement forfaitaire	60
V. 3.1.1	Principe	60
V. 3.1.2	Méthode de calcul	61
V. 3.2.	Dimensionnement optimisé	61
V. 3.2.1.	Principe.....	61
V. 3.2.2.	Méthode de calcul	61
V. 3.3.	Coefficients d'équivalences et de pondération	63
V. 4.	Renforcement de la piste principale et ses annexes.....	63
V. 4.1	Piste principale	63
V. 4.2.	Glams et Bretelles	65
V. 4.2.1.	Glam 1	65
V. 4.2.2.	Bretelle C2-C4	66
V. 4.2.3.	Glam 2	66
V. 4.2.4.	Bretelle E3	67
V. 4.2.4.	Bretelle D3	68
V. 5.	Renforcement de la piste secondaire et ses annexes.....	68
V. 5.1	Piste secondaire	68
V. 5.2	Accotements.....	70
V. 5.3.	Bretelles de L'X et parking national	71

V. 6. Etude de l'extension du taxiway 09/27	71
V. 7. Conclusion.....	72
CHAPITRE VI : PROPOSITION DE VARIANTES	
1 ^{er} partie : recherche sur les nouveaux matériaux	73
VI.1.Introduction.....	73
VI.2.Les techniques d'entretien pour limiter les conséquences de la remontée des fissures ...	73
VI.2.1. Définition	73
VI.2.2. Caractéristiques des interfaces antifissures	73
VI.3.Géosynthétique.....	74
VI.3.1. Géotextile	74
VI.3.1.1.Définition.....	74
VI.3.1.2. Constituants	74
VI.3.1.3. Les principaux types de géotextile.....	74
VI.3.1.4. Fonctions des géotextiles.....	75
VI.3.2. Géogrille.....	76
VI.3.2.1. Définition.....	76
VI.3.2.2. Fonctions d'une géogrille	76
VI.4.Sables bitumes.....	76
VI.4.1. Définition	76
VI.4.2. Formulation	76
VI.4.3. Précautions d'usage	77
VI.5.Enrobés à module élevé	77
VI.5.1. Définitions des EME et des BBME	77
VI.5.2. Formulation des EME	77
VI.5.3. Performances des enrobés à module élevé.....	78
VI.5.4. Coefficient d'équivalence des EME et BBME.....	78
VI.5.5. Mise en œuvre	79
VI.5.6. Avantages des EME.....	79
VI.5.7. Inconvénients des EME	79
2 ^{ème} partie : Proposition des variantes	79
VI.1.Présentation des Variantes pour Piste principale (05/23).....	80
VI.1.1 Variante 1 (classique).....	80
VI.1.2 Variante 2 (Sable bitume + BBME).....	80

VI.1.3 Variante 3 (Géosynthétiques + EME+BBME)	80
VI.2.Comparaison entre variantes	81
VI.2.1. Estimation des couts pour les différentes variantes	81
VI.2.1.1. Variante 1 (classique)	81
VI.2.1.2. Variante 2 (Sable bitume + BBME)	81
VI.2.1.3. Variante 3 (Géosynthétiques + BBME)	82
VI.2.2. Analyse multicritère	83
VI.3.Choix de la variante	84
VI.4.Application de la variante retenue	85
VI.4.1. Piste principale, le taxiway05/23 et les bretelles qui les relient	85
VI.4.2. Piste secondaire et partie souple du taxiway 09/27 et SGV3	85
VI.4.3. Accotements de la piste secondaire ($e_{cq}=75\text{cm}$)	86
VI.4.4. Bretelle C2-C4	86
VI.4.5. Bretelle E3	87
VI.4.6. Bretelle D3	87
VI.4.7. Glam 1 (atelier de maintenance)	88
VI.4.8. Glam 2	88
VI.4.9. Bretelles de L'X et parking national	88
VI.4.10. Accotements des voies de circulation	88
VI.4.11. Extension du taxiway 09/27	89
VI.5.Pentes longitudinales et transversales	89
VI.5.1. Pentes transversales	89
VI.5.1.1 Piste principale	89
VI.5.1.2 Piste secondaire	89
VI.5.2. Pentes longitudinales	90
VI.6.Conclusion	90

CHAPITRE VII : METRE

VII. 1. Introduction	91
VII. 2. Calcul des surfaces	91
VII. 2.1. Piste principale et ses annexes	91
VII. 2.2. Piste secondaire et ses annexes	91
VII. 2.3. Extension du taxiway	92
VII. 3. Calcul des volumes des matériaux et travaux	92

VII. 3.1. Fraisage	92
VII. 3.2. Décaissement des structures existantes.....	92
VII. 3.3. Décapage de terre naturelle	93
VII. 3.4. Compactage de fond de forme.....	93
VII. 3.5. Emulsion cationique.....	93
VII. 3.6. Cut-back	93
VII. 3.7. Béton bitumineux à module élevé	94
VII. 3.8. Enrobé à module élevé	94
VII. 3.9. Béton bitumineux.....	94
VII. 3.10. Grave bitume	94
VII. 3.11. TVO	95
VII. 3.12. Grave concassée.....	95
VII. 3.13. Sable bitume	95
VII. 3.14. Géogrille.....	95
VII. 4. Estimation du coût de projet	95
VII. 5. Conclusion	96

CHAPITRE VIII : ACN/PCN

VIII. 1. Introduction	97
VIII. 2. Définition des termes	97
VIII. 3. Présentation de la méthode ACN-PCN	97
VIII. 3.1. Calcul de l'ACN	98
VIII. 3.1.1. Détermination théorique.....	98
VIII. 3.1.2. Détermination pratique.....	98
VIII. 3.2. Calcul du PCN.....	100
VIII. 4. Résultats de l'aérodrome d'Alger	104
VIII. 4.1. PCN.....	104
VIII. 4.2. ACN.....	105
VIII. 5. Conclusion.....	105

CONCLUSION GENERALE

ANNEXE

BIBLIOGRAPHIE

LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Localisation géographique du projet.....	1
Figure II.1 : Flache	7
Figure II.2 : Ornière.....	8
Figure II.3 : Déformation en W.....	9
Figure II.4 : Gonflement /Bourrelet	9
Figure II. 5 : Tassement différentiel.....	10
Figure II.6 : Fissure de fatigue	11
Figure II.7 : Faïençage de fatigue.....	12
Figure II.8 : Fissures de joint	13
Figure II.9 : Fissures de retrait	13
Figure II.10 : Faïençage de retrait	14
Figure II.11 : Fissure parabolique	15
Figure II.12. Désenrobage /Brulure.....	15
Figure II.13 : Pelade	16
Figure II.14 : Nid-de-poule	17
Figure II.16 : Fissures d'angle	18
Figure II.18 : Pompage sur joints de construction et joints de retrait sur voie de circulation ..	20
Figure II.19 : Décalage/Marche	20
Figure II.20 : Epaufrure	21
Figure II.21 : Ecaillage/Faïençage.....	22
Figure II.22 : Défaut de joint (mauvaise adhérence relevée par la présence de végétation)	22
Figure II.23 : Réparation ponctuelle dégradée.....	23
Figure II.24 : Dépôt de gomme	24
Figure II.25 : Maillage.....	25
Figure II.28 : Fissures de fatigue sur l'aérodrome d'Alger	27
Figure II.30 : Remontées d'eau ou de fines sur l'aérodrome d'Alger.....	28
Figure II.31 : Flache sur l'aérodrome d'Alger.....	29
Figure II.32 : Dépôt de gomme sur l'aérodrome d'Alger.....	29
Figure II.33 : Enrobé Poreux.....	30
Figure II.34 : Excès de pontage sur l'aérodrome d'Alger	30

Figure II.35 : Cisaillement de câbles de précontrainte sur l'aérodrome.....	31
Figure II.36 : Présence de végétations sur l'aérodrome	31
Figure II.37 : Abaque correspondant à une flache sur chaussée souple.....	33
Figure II.38 : Abaque apportant correction à la valeur déduite totale.....	34
Figure II.39 : Organigramme de l'indice de service	36
Figure III.1 : Uni d'une chaussée	38
Figure III.2 : Analyseur de profil en long.....	39
Figure III.3 : Mesure automatique de la glissance (la remorque IRV).....	40
Figure III.4 : Remorque de portance	41
Figure III.5 : Appareil d'acquisition HWD 8081	42
Figure III.6 : Géophones de mesure	42
Figure III.7 : Géoradar portable.....	43
Figure III.8 : Principe de la mesure radar	43
Figure III.9 : Exemple de radargramme SIR20.....	44
Figure IV.1 : Plan d'implantation des essais in-situ	49
Figure V.1 : Comportement d'une chaussée souple.....	59
Figure VI.1 : Géotextile tissé	73
Figure VI.2 : Géotextile non tissé	74
Figure VIII.1 : Abaque de correction des ACN en fonction de la pression réelle q' de gonflage des pneumatiques sur chaussée rigide	95
Figure VIII.2 : Abaque des valeurs de H (CBR) pour le calcul du PCN approché des chaussées souples	97
Figure VIII.3 : Abaque des valeurs de G (K) pour le calcul du PCN approché des chaussées rigides	97
Figure VIII.4 : Algorithme d'admissibilité.....	99

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Dimensions des infrastructures de l'aéroport.....	3
Tableau I.2 : Données de trafic de l'aéroport.....	4
Tableau II.1 : Indications supplémentaires sur le relevé de dégradations.....	25
Tableau II.2 : Interprétation de l'indice de service.....	33
Tableau II.3 : Types de dégradations.....	35
Tableau II.4 : Indices de service de l'aérodrome d'ALGER.....	36
Tableau IV.1: Résultats des sondages carottés.....	51
Tableau IV.2 : Résultats des puits.....	52
Tableau IV.3 : Résultats des essais au pénétromètre statique.....	53
Tableau IV.4 : Résultats des essais physiques.....	54
Tableau IV.5 : Résultats des limites d'Atterberg.....	55
Tableau IV.6 : Résultats des essais triaxiaux.....	55
Tableau IV.7 : Résultats des Essais œnométriques.....	56
Tableau IV.8 : Valeurs des limites d'Atterberg.....	57
Tableau IV.9 : Valeurs des indices CBR.....	57
Tableau V.1 : Coefficients d'équivalence des matériaux.....	63
Tableau V.2 : Coefficients de pondération des différentes aires.....	63
Tableau V.3 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion PP.....	64
Tableau V.4 : Calcul de nombre de mouvements équivalents PP.....	64
Tableau V.6 : Détermination de l'avion de référence.....	65
Tableau V.7 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion PS (partie souple).....	69
Tableau V.8 : Calcul de nombre de mouvements équivalents PS (partie souple).....	69
Tableau V.9 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion PS (partie mixte).....	70

Tableau V.10 : Calcul de nombre de mouvements équivalents PS (partie mixte).....	70
Tableau V.11 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion pour l'extension du taxiway.....	71
Tableau V.12 : Calcul de nombre de mouvements équivalents pour l'extension du taxiway..	72
Tableau VI.1 : Performances des EME et BBME.....	78
Tableau VI.2 : Evaluation financière de la 1er variante.....	81
Tableau VI.3 : Evaluation financière de la 2ème variante.....	82
Tableau VI.4 : Evaluation financière de la 3ème variante.....	82
Tableau VI.5 : Comparaison multicritères entre variante.....	83
Tableau VII.1 : Evaluation financière du projet.....	95
Tableau VIII.1 : Indications et codifications.....	97
Tableau VIII.2 : ACN des principaux avions.....	99

LISTE DES ABRVIATIONS

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

STBA : Service Technique des Bases Aériennes

SGBA : Système de Gestion des Bases Aériennes.

IS : Indice de Service.

VD : Valeur Déduite.

VDT : Valeur Déduite Totale.

VDC : Valeur Déduite Corrigé.

BB : Béton Bitumineux.

GB : Grave Bitume.

EME : Enrobé à Module Elevé

BBME : Béton Bitumineux à Module Elevé.

TVO : Tout Venant d'Oueds

PP : Piste Principale

PS : Piste Secondaire

SGV : Sortie à Grande Vitesse.

POR : Prolongement Occasionnellement Roulable.

e_{eq} : Epaisseur Equivalente.

$e_{réelle}$: Epaisseur Réelle.

INTRODUCTION GENERALE

Pour assurer son développement économique et social, l'Algérie a consenti ces dernières années des efforts considérables dans le secteur des travaux publics. Le programme national de développement 2010-2014 et les grands projets d'infrastructures (Autoroute Est-Ouest, barrages, modernisation des chemins de fer, etc.) qui sont en train d'être menés en sont la preuve. En effet, les Travaux Publics bénéficient d'une enveloppe de 102 milliards de dollars, des 286 mds de dollars alloués au plan quinquennal de développement (2010-2014) et dont la part de lion est consacrée aux Transports (source : *rapport Algérie 2011 Oxford Business Group*). Le développement et la mise à niveau des infrastructures aéroportuaires fait partie intégrante de ces programmes.

Pour s'intégrer dans l'environnement économique global, le gouvernement algérien peut miser sur la ville d'Alger comme métropole incontournable de par sa position géostratégique et son importance économique. Elle peut constituer une plaque tournante du bassin méditerranéen et plus généralement un lieu de concentration d'échanges internationaux. En effet, la croissance économique et l'ouverture au commerce international ont contribué à une croissance impressionnante du trafic aérien lors des 15 dernières années.

Au cours de leur exploitation, les infrastructures aéroportuaires subissent des dégradations liées à l'usure et à la fatigue engendrant des anomalies apparentes au niveau de leur couche de surface. Ceci peut devenir néfaste pour le mouvement des aéronefs, sachant que la durée de vie d'une piste est de 15 à 20 ans.

L'aéroport international Houari Boumediene est le plus grand aéroport d'Algérie, par l'importance de ces infrastructures et le trafic qu'il draine. Cet aérodrome, construit en 1953, constitue l'unique infrastructure aéroportuaire civile de la capitale. Il reçoit de ce fait, un trafic important, estimé à 50% du trafic national.

Cet aérodrome est situé dans une région marécageuse et sert de passage supérieur sur deux importants oueds (Oued Saïd et Oued Boutrik) constituant une zone très compressible.

La mise à niveau prévue de l'aérodrome d'Alger nous a offert la chance de participer, par le biais de notre projet de fin d'étude, aussi bien à la rénovation de ses infrastructures qu'à la proposition d'innovation.

Dans ce cadre, notre travail porte sur l'« *Etude de renforcement de l'aérodrome d'Alger avec extension du taxiway de la piste secondaire 09/27* ». Il s'articulera d'une part sur la collecte de données se traduisant par l'inspection visuelle, l'évaluation des dégradations et l'auscultation, et d'autre part, sur le dimensionnement du renforcement et des propositions de variantes en adoptant des solutions innovantes notamment les enrobés à module élevé et les Géosynthétiques.

En ce sens, nous avons structuré notre travail de la manière suivante :

Le **chapitre I** est consacré à la présentation du projet. Une description des différentes infrastructures de l'aérodrome avec un historique d'évolution ainsi que les données de base en termes de trafic, environnement, climatologie, géologie et géotechnique.

Le **chapitre II** est réservé à l'observation et l'évaluation sur site des dégradations relevant d'un défaut de structure ou de surface. A partir de là, on va calculer l'indice de service. Cette étape constitue la 1^{ère} démarche que doit assurer un gestionnaire pour apprécier le niveau de dégradation des pistes.

Le **chapitre III** est dédié à l'auscultation des infrastructures. Nous définissons plusieurs moyens d'auscultations de l'aérodrome d'Alger (contrôle de l'uni, adhérence, portance) et vérification des différentes couches de la chaussée, par le Géoradar.

Le **chapitre IV** est consacré à l'étude géotechnique (géotechnique du site de l'extension du taxiway). Elle est composée de résultats de la campagne de reconnaissance géotechnique donnant un indice (CBR) du site.

Le **chapitre V** aborde le dimensionnement du renforcement des différentes infrastructures de l'aérodrome par la méthode forfaitaire et la méthode optimisée.

Le **chapitre VI** établit des propositions de variantes classiques et nouvelles pour le projet de renforcement en fonction des résultats du dimensionnement. Il traite une comparaison technico-économique des variantes proposées et propose un choix de la variante à appliquer.

Le **chapitre VII** est consacré au métré. Il reprend principalement le calcul des surfaces, la quantité des matériaux et l'estimation des coûts.

Enfin, pour le **chapitre VIII**, il est question de l'ACN-PCN, outil de gestion et de communication donnant l'admissibilité des avions sur l'aérodrome. On donnera les nouvelles valeurs des PCN après le renforcement et les ACN correspondant à l'avion de référence (le plus contraignant).

Chapitre I

Présentation du projet

I.1. Introduction

Alger, capitale d'Algérie, est située au bord de la mer Méditerranée, elle s'étend sur une superficie de 1190 Km². En 2010, Alger compte environ 2 240 000 habitants. Elle constitue un lieu de grande concentration d'activités économiques, commerciales et culturelles du pays; cette concentration a entraîné une augmentation considérable des besoins en transport aérien.

I.2. Présentation de l'aérodrome d'Alger

L'aéroport international Houari Boumediene est situé à la commune de Dar El Beida à une vingtaine de kilomètres à l'Est d'Alger.

Ses limites sont :

Au Nord : la Rcade sud (autoroute).

Au Sud et à l'ouest : Oued Smar.

A l'Est: Oued Hamiz.

Latitude : 36° 41' 40" N.

Longitude : 03° 13' 01" E.

Altitude : 25 m

Code OACI : DAAG

Classe : A



Figure I.1 : Localisation géographique du projet

C'est le plus important de tous les aéroports algériens et l'unique infrastructure aéroportuaire civile de la capitale d'Algérie; il est aussi une plaque tournante entre l'Europe, l'Afrique, le Moyen Orient et aujourd'hui l'Asie et l'Amérique du fait :

- De l'accroissement du trafic aérien tant national qu'international.
- De la multiplication des besoins d'exploitations.
- De l'accroissement du tonnage des avions utilisant cet aérodrome.

Il reçoit de ce fait un trafic très important qui atteint 4,5 millions de passagers par an (2009). Il est doté d'une piste principale 05/23 et d'une piste secondaire 09/27, faisant entre elles un angle de 37° ; les deux pistes sont doublées de deux taxiways et annexées de bretelles et parkings.

I.3. Description de l'aérodrome

I.3.1. Piste principale et ses annexes

La construction de la piste principale 05/23 orientée NE-SW a commencé en octobre 1953, et a été achevée en 1955, destinée à des avions de 135 tonnes. Et réalisée en béton précontraint sur une longueur de 2430m et une largeur de 60m avec 0,18m d'épaisseur. Elle est doublée d'un taxiway parallèle à la piste avec 04 bretelles de raccordement.

Compte tenu du contexte économique de l'époque, ainsi que l'envergure des aéronefs sans cesse croissante, nécessitant une longueur de piste conséquente, la piste principale a été prolongée en 1967 de 1070m en structure rigide, constituée par des dalles en béton hydraulique de 7,50 x 7,50m et de 0,37m d'épaisseur, portant ainsi la longueur totale de la piste à 3500m.

D'octobre 1984 à 1988, il a été procédé au renforcement de la piste principale 05/23 et ses voies de circulation en chaussée souple, ainsi qu'à la réalisation d'une sortie à grande vitesse (SGV4) de 500m x 25m.

I.3.1. Piste secondaire et ses annexes

Début avril 1960, la nouvelle piste secondaire 09/27 orientée E-W, en béton précontraint d'épaisseur 0,16m a été réalisée sur une longueur de 2350m et une largeur de 45m et a été inaugurée en 1961.

D'octobre 1984 à 1988, il a été procédé au renforcement et à l'extension de la piste secondaire 09/27 en chaussée souple sur une longueur de 1150m vers l'Ouest, portant ainsi sa longueur totale à 3500m. Il a été également procédé à la réalisation du taxiway 09/27 sur une longueur de 2600m et une largeur de 25m avec ses deux sorties à grande vitesse (SGV1, SGV3).

Cette extension a nécessité un traitement spécifique de la traversée de l'Oued Boutrik (zone compressible) sur une longueur de 350m. Ce traitement a consisté en la réalisation des drains verticaux en PVC de 6,5cm (maillage 2x2m, profondeur de 20m), et la mise en place d'un remblai de 4m de hauteur. Cette technique a permis d'avoir une consolidation de 80% au bout de 12 mois.

Un tassement s'est produit au centre du lit d'Oued Boutrik. Certaines mesures de réparation ont été prises pour corriger le profil en long et faire face au problème de l'uni qui n'a cessé de se poser.

I.3.3. Aires de stationnement

En 1953 des aires de stationnement d'une superficie totale d'environ 217 000m² ont été construites en structure rigide réparties comme suit :

- Un parking central d'une superficie d'environ 50000 m².
- Un parking fret d'une superficie d'environ 22600 m².
- Un parking Glam 1 (Atelier de maintenance) d'une superficie d'environ 58000 m².
- Un parking Glam 2 (parking des avions hors service) d'une superficie d'environ 86400 m².

D'octobre 1984 à 1988, il a été procédé au renforcement du parking central ainsi qu'à la réalisation d'un nouveau parking pour gros porteurs en structure rigide (dalles de béton d'épaisseur 37 cm) d'une superficie de 100 000 m². Quant aux infrastructures Glam 1, Glam2, parking fret, et les bretelles C4, D3 et E3, elles ont fait l'objet d'une étude d'expertise qui a révélé la nécessité de procéder à une étude de renforcement qui a été exécutée sans toucher le parking fret.

Le tableau suivant résume l'ensemble des dimensions des pistes et des taxiways et de leurs extensions, avec les dates de construction.

Tableau I.1: Dimensions des infrastructures de l'aéroport

Désignation	Année de construction	longueur	Largeur
Piste 05/23	1953-1955	2430	60
Extension de la piste	1967	1070	60
Taxiway 05/23	1953-1955	2050	25
Extension du taxiway 05/23	1967	1070	25
Piste 09/27	1960-1961	2350	45
Extension de la Piste 09/27	1984-1987	1150	45
Taxiway 09/27	1984-1988	2600	25

I.4. Données de base de l'aérodrome

I.4.1. Trafic

Dans le dimensionnement des infrastructures aéroportuaires, la connaissance du trafic ainsi que son évolution sont primordiales afin de prévoir des mesures adéquates ; Les prévisions du trafic portent sur les charges réelles et le nombre de mouvements réel des différents avions envisagés pendant la durée de vie de la chaussée.

Pour notre projet; la durée de vie prise en compte dans les calculs est de 10 ans. Le trafic total pendant ces périodes est estimé à partir du trafic de l'année 2007, avec une progression annuelle de 5%.

Tableau 1.2: Données de trafic de l'aéroport

Type avion	B 747 + B777	B 707	B 737	B 757	B 767	A320 (serie1)	A330 (serie2)	ATR 72 et équivalent
Trafic en 2007	211	195	22151	226	1984	9201	5155	10603

Ce trafic est reparti comme suit :

- 48% du trafic total est appliqué sur la piste principale, pour une mise en service en 2013.
- 52% du trafic total est appliqué sur la piste secondaire. La mise en service est en 2015 pour la piste secondaire, Et en 2012 pour La partie du taxiway concernée par l'extension.

I.4.2. Environnement et climatologie

Ces données sont des éléments indispensables à connaître afin d'assurer un bon dimensionnement des chaussées des infrastructures aéroportuaires, prévoir un réseau d'assainissement adéquat et garantir une sécurité optimale lors des manœuvres de décollage et d'atterrissage.

❖ Vent

Le vent est un paramètre très important dans la conception des aérodromes car la direction d'envol est orientée selon la direction du vent dominant, généralement le décollage et l'atterrissage se font face au vent :

Au décollage le vent permet à l'appareil de se lever plus rapidement ce qui implique moins de distance à parcourir, tandis qu'à l'atterrissage le vent aide l'avion à freiner.

Les manœuvres d'atterrissages et de décollage deviennent dangereux lorsque le vent est perpendiculaire à l'axe de la piste (vent traversier) et dépasse une valeur critique donnée pour chaque type d'avion.

$$V_t = V_v \times \sin \alpha$$

V_t : vitesse du vent traversier.

V_v : vitesse du vent.

❖ Climat

Alger bénéficie d'un climat méditerranéen. Les pluies a Alger sont abondantes et peuvent être diluviennes et le verglas est important en temps de froid, mais La neige est rare. Il fait généralement chaud surtout de la mi-juillet à la mi-août.

- Température minimale moyenne : 11,5°C.
- Température maximale moyenne : 17,2°C.

- Précipitations : 764mm/an.
- Record de froid : -9 °C.
- Record de chaleur : 47,2°C.

I.4.3. Géologie

L'assiette de l'aérodrome d'Alger est implantée sur une plaine qui est caractérisée par des dépressions d'orientation NE-SW.

La région de Dar El Beida appartient à la zone septentrionale du bassin mio-plio- quaternaire de la Mitidja. On retrouve essentiellement des limons en surface, des argiles vaseuses très plastiques, les argiles bariolées jaunes-ocre et verdâtres à petite concrétion calcaire, des sables graveleux et les graves sablo argileuses.

De même que nous retrouvons des faciès typiques des régions marécageuses à savoir des argiles tourbeuses.

Le Quaternaire est constitué dans la région d'Alger par de nombreux termes lithologiques (sable, grès dunaire, alluvion, éboulis, limon, argiles vaseuses, tourbes argileuses).

I.4.4. Géotechnique

D'après l'expertise menée par le CTTP en 2003, l'aérodrome d'Alger est implanté sur un sol constitué de vases et d'argiles tourbeuses compressibles. Elles sont caractérisées par des densités sèches très faibles et des teneurs en eau très élevées. Généralement, les teneurs en eau sont supérieures à la teneur en eau de plasticité. Les argiles tourbeuses présentent des teneurs en eau proches de la limite de liquidité, elles ont un indice de liquidité supérieur à 0,5.

I.5. Conclusion

Les infrastructures de l'aéroport d'Alger ayant bénéficié d'un renforcement dans les années 80, présentent des dégradations de plusieurs types causés par l'accroissement du trafic et l'effet du climat, ce qui nécessite un nouveau renforcement.

Pour pouvoir fermer la piste principale durant la période des travaux de renforcement, il faut d'abord faire l'extension du taxiway de la piste secondaire pour garantir la continuité de fonctionnement de l'aéroport.

Chapitre II

Dégradations et inspection visuel

II.1. Introduction

Afin de préserver et d'utiliser au mieux son patrimoine de chaussées aéronautiques, le gestionnaire d'un aéroport doit :

- connaître leur capacité portante pour les adapter à l'évolution du trafic en entreprenant en temps voulu les travaux nécessaires,
- contrôler les caractéristiques antidérapantes
- la qualité du profil en long des pistes d'envol pour prévenir tout accident.

Le relevé visuel appelé Indice de service, constitue la 1^{ère} démarche qu'un gestionnaire d'aéroport doit assurer pour apprécier le niveau de dégradation des pistes.

Le relevé de dégradations doit être assimilé à une « mesure » et à ce titre, s'intégrer dans une procédure qui définit clairement les conditions de réalisation de ce relevé, son exploitation et son interprétation. Pour une telle procédure, il est nécessaire :

- D'homogénéiser les relevés de dégradations en les adaptant aux structures des chaussées (souple, rigide),
- De normaliser la définition des dégradations et leur mesure.

Les dégradations diffèrent selon le type de chaussées rencontrées. Il existe des cas complexes (couches bitumineuses sur dalle en béton, superposition de dalles en béton) mais dans le cas général on retiendra deux types de chaussées aéronautiques, chaussées souples et chaussées rigides.

II.2. Dégradation de chaussées aéronautiques

Les dégradations sont les différents désordres que peut subir une chaussée après un certain temps de sa mise en service.

Le mode de classement des dégradations a fait l'objet d'une attention particulière. En effet, il est possible de les classer suivant plusieurs critères :

- Leurs natures (familles des fissures, des déformations)
- Leurs origines (insuffisance structurelle ou défaut de surface)
- Leurs niveaux de gravité.
- L'objectif de l'entretien qui leur correspond (conservation de qualités structurelles, intégrité de surface, sécurité).

II.2.1. Chaussées souples

II.2.1.1. Famille des dégradations

❖ *Flache*

La flache est une dépression localisée de la surface de la chaussée, généralement de forme elliptique en plan et de longueur inférieure à 5 m.



Figure II.1 : Flache

Ses causes sont

- Défaut de surfacage lors de la mise en œuvre de la couche de roulement ;
- Compacité de la couche de roulement ou de la couche de base ponctuellement insuffisante ;
- Tassement des couches inférieures ou du sol support ;
- Pollution du corps de chaussée ;
- Drainage déficient.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- l'Altération de l'uni ;
- La rétention d'eau pouvant entraîner une diminution de l'adhérence et un risque d'aquaplanage (cas des pistes) ;
- l'infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Le désenrobage.

Interventions possible

- Découpage soigné de la section endommagée avec coupe verticale
- Rabotage de l'enveloppe de la flache
- Reprofilage en enrobé à chaud (couche d'accrochage ou d'imprégnation au préalable).

❖ Ornière/Frayée

C'est une dépression longitudinale de faible rayon transversal, apparaissant dans les traces des atterrisseurs et éventuellement accompagnée d'un fluage des enrobés se matérialisant par un bourrelet en bordure de la déformation.

Elle se rencontre généralement sur les postes de stationnement « nez dedans » et sur les voies de circulation.



Figure II.2 : Ornière

Ses causes sont

- Instabilité des matériaux de la couche de base ou de la couche de roulement ;
- Sous-dimensionnement du corps de chaussée ou fatigue excessive de la chaussée.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- L'altération de l'uni ;
- La rétention d'eau pouvant entraîner une diminution de l'adhérence et un risque d'aquaplanage (cas des pistes)
- L'infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Le désenrobage
- Fissuration et faïençage de fatigue.

Intervention possible

Même nature de travaux que pour la reprise de flache, sauf si les dégradations sont plus prononcées, alors il faut qu'il y ait une reprise de la structure.

❖ Déformations en W

Ce sont des dépressions longitudinales de grand rayon transversal, situées de part et d'autre de l'axe de circulation dans le passage des atterrisseurs principaux des avions et dont les largeurs varient entre 5 et 7 m. Elles s'observent généralement sur d'assez grandes longueurs.

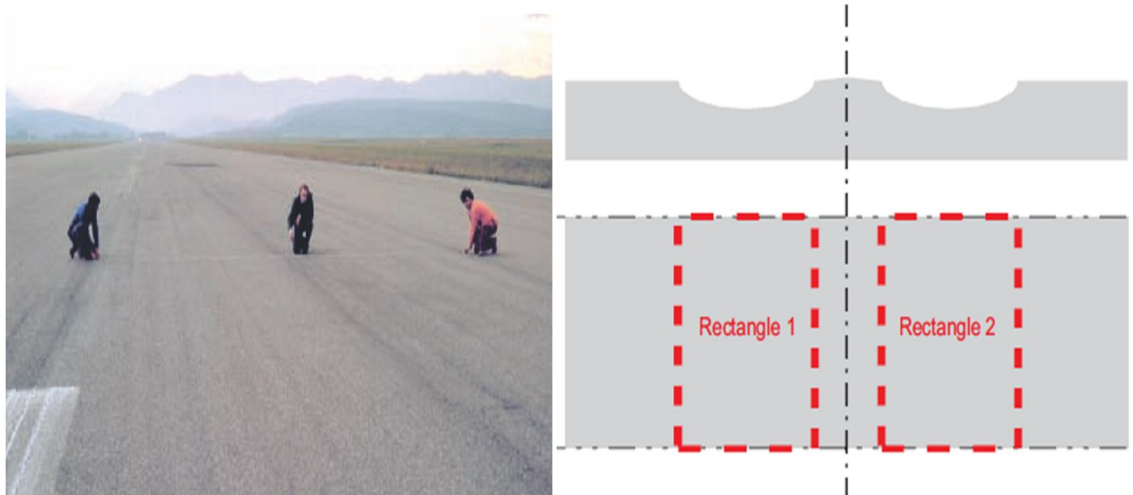


Figure II.3 : Déformation en W

Ses causes sont

Tassement dû à l'attrition des matériaux du corps de chaussée (fatigue de la chaussée).

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Rétention d'eau pouvant entraîner une diminution de l'adhérence et un risque d'aquaplanage (cas des pistes) ;
- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Désenrobage ;
- Fissuration et faïençage de fatigue.

Intervention possibles

- Reprise localisée de la couche de roulement et du profil en travers, sauf si les dégradations sont plus prononcées, alors il faut qu'il y est une reprise de la structure.

❖ **Gonflement/Bourrelet**

Le gonflement est le renflement de la structure dans le profil en long ou le profil en travers



Figure II.4 : Gonflement /Bourrelet

Ses causes sont

- Fluage des enrobés sous des efforts tangentiels importants (freinage ou impact des avions) ;

- Gélivité ou propriétés gonflantes du sol support ;
- Dilatation thermique des couches sous-jacentes (dalles en béton hydraulique, assises traitées...) avec pénétration de matériaux incompressibles dans les joints ou les fissures empêchant tout retour à l'état initial;
- Effets thermiques sur des couches de surface aux raccords de structures de natures différentes (poussée de dalles en béton hydraulique sur couche de roulement en enrobés...).

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Altération de l'uni ;
- Décollement des couches avec accumulation d'eau et risque de dégradation par le gel ;
- Perte de cohésion des couches de chaussée ;
- Fissuration.

Intervention possibles

- Découpage soigné de la zone à traité ;
- Rabotage
- Mise en œuvre d'une nouvelle couche d'enrobé à chaud (couche d'accrochage au préalable).

❖ Tassement différentiel/Marche

La marche constitue une dénivellation, généralement transversal, liée aux dispositions constructives.



Figure II. 5 : Tassement différentiel

Ses causes sont

- Discontinuité de construction ou de structure (notamment jonction chaussée souple-chaussée rigide) ;
- Non-homogénéité du sol support (notamment à la limite remblai déblai) ;
- Ouvrage sous chaussée (buse, ponceau...).

Ses conséquences et ses évolutions sont :

Altération de l'uni

Interventions possibles

- Rabotage ;

- Reprofilage en enrobé à chaud

II.2.1.2. Famille des fissures

❖ *Fissure de fatigue*

C'est une fissure longitudinale qui apparaît généralement dans les traces des atterrisseurs. Elle est souvent accompagnée de fissures transversales à intervalle aléatoire et d'une dépression.



Figure II.6 : Fissure de fatigue

Ses causes sont

- Fatigue avancée de la chaussée ou sous-dimensionnement d'une ou plusieurs couches ;
- Diminution de portance du sol support (drainage déficient, défaut d'étanchéité de la surface) ;
- Mauvais mode de fonctionnement de la structure (couches décollées...) ;
- Qualité médiocre de certains matériaux.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Départ de matériaux ;
- Faïençage de fatigue.

Intervention possible

- Nettoyage des bords de la fissure ou découpage selon la gravité de la fissure
- Pontage par mastic

❖ *Faïençage de fatigue*

C'est un ensemble de fissures formant un maillage, les mailles ayant la forme de polygones dont la plus grande diagonale ne dépasse pas 60 cm. Généralement cette dégradation est située dans les traces des atterrisseurs et est accompagnée d'une dépression.



Figure II.7 : Faïençage de fatigue

Ses causes sont

- Fatigue excessive de la chaussée (répétition de charges avoisinant ou dépassant la limite admissible) ou sous-dimensionnement du corps de chaussée ;
- Mauvaise qualité de certaines couches de la chaussée ;
- Evolution d'un faïençage de retrait.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Nid-de-poule

Intervention possible

Après avoir délimité la zone à traiter et selon le niveau de gravité et le type de trafic reçu :

- Mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiratrice ou pontage des fissures.
- Ou reprise de la couche de roulement après rabotage.

❖ ***Fissures de joints***

Elles sont situées sur un joint. Il faut entendre par « joint » le raccordement longitudinal entre deux bandes de répannage de la couche de roulement, ou transversal à la reprise de bande.

Par extension, cela peut désigner également la délimitation entre zones de structures différentes.



Figure II.8 : Fissure de joint

Ses causes sont

- Défaut de mise en œuvre de la couche de roulement (bord de la première bande trop froid, compactage insuffisant du joint, mauvais collage entre bandes lors d'une reprise de répannage en particulier)
- Discontinuité de structure (souple et rigide).

Ses conséquences et ses évolutions sont :

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Départ de matériaux.

Intervention possible

- Nettoyage de la surface à traiter ;
- Pontage des fissures par mastic.

❖ Fissure de retrait

Fissure généralement transversale, elle se rencontre à intervalle régulier (variable de 3 à 20 m) sur une partie ou la totalité de la largeur de la chaussée. Elle peut s'accompagner de déformations (gonflements ou tassements).

Par extension au cas des chaussées en dalles de béton de ciment renforcées en enrobés, la fissure est située au droit des joints de dalles.



Figure II.9 : Fissure de retrait

Ses causes sont

- Retrait thermique des couches sous-jacentes traitées aux liants hydrauliques ;

- Remontées des joints de dalles sous-jacentes (effets thermiques sur les dalles, battements de dalles sous trafic).

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.

Intervention possible

- Nettoyage de la surface à traiter
- Pontage des fissures par coulis à fond ou mastic.

❖ *Faiénçage de retrait*

C'est un ensemble de fissures formant un maillage, les mailles étant sensiblement rectangulaires, de largeur inférieure à 3 m et généralement supérieure à 60 cm. Cette dégradation peut se rencontrer indifféremment sur toute la largeur de la chaussée, même dans les zones non circulées.



Figure II.10 : Faiénçage de retrait

Ses causes sont

-Effets thermiques dans la couche de roulement.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Départ de matériaux.

Intervention possibles

Rabotage de la couche de roulement et mise en œuvre d'une couche d'enrobé à chaud (après couche d'accrochage).

❖ *Fissures paraboliques/Enrobé tiré*

Elles constituent un ensemble de fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement. Ces fissures peuvent être accompagnées de bourrelets.



Figure II.11 : Fissure parabolique

Ses causes sont

- Efforts tangentiels trop importants dans la couche de roulement et affectant généralement les zones de virage ou de freinage ;
- Epaisseur insuffisante de la couche de roulement ;
- Défaut de mise en œuvre (accrochage défectueux de la couche de roulement, température insuffisante de l'enrobé au compactage).

Ses conséquences et ses évolutions

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Départ de matériaux.

Intervention possible

- Pontage des fissures ;
- Découpage et nettoyage soigné de la chaussée
- Enrobé à chaud et couche d'accrochage.

II.2.1.3. Famille des arrachements**❖ Désenrobage/Brulure**

Séparation du mastic (liant ± fines) et des granulats avec éventuellement départs de ces derniers constitue le désenrobage.

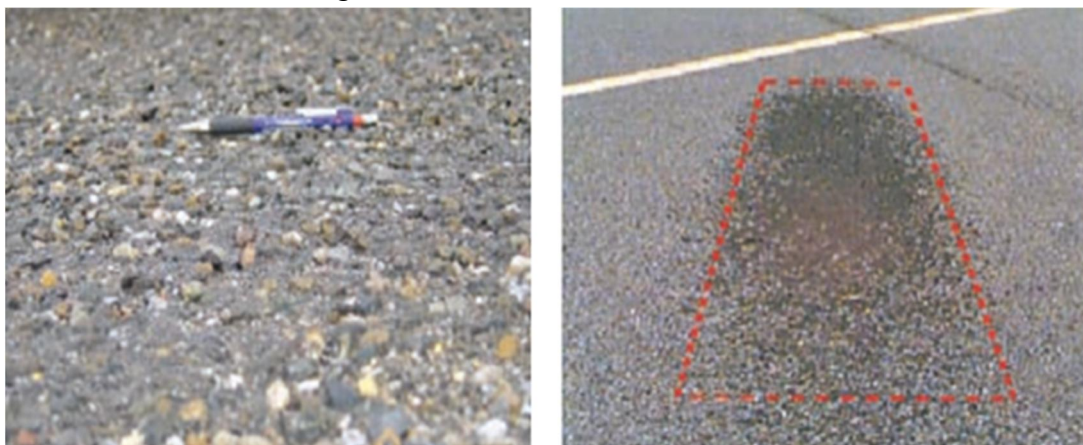


Figure II.12. Désenrobage /Brulure

Ses causes sont

- Vieillissement du liant ;
- Mise en œuvre sous conditions météorologiques défavorables ;
- Actions physico-chimiques dues aux méthodes de déglacage (produits chimiques, thermo soufflage) ou aux méthodes de dégommage ;
- Stagnation d'eau sur la chaussée ;
- Brûlures dues au souffle des réacteurs.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Altération de l'étanchéité ;
- Nid-de-poule.

Intervention possible

- Balayage et nettoyage de la surface
- Rabotage de la couche de roulement et mise en œuvre d'enrobé à chaud (après couche d'accrochage).

❖ Pelade

La pelade se traduit par l'arrachement de la couche de roulement par plaques.



Figure II.13 : Pelade

Ses causes sont

- Epaisseur insuffisante de la couche de roulement ;
- Défaut d'accrochage de la couche de roulement (nettoyage insuffisant avant la mise en œuvre de la couche de roulement, absence de couche d'accrochage, présence d'eau à l'interface).

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Altération de l'étanchéité ;
- Altération de l'uni ;
- Nid-de-poule.

Interventions possibles

- Découpage soigné de la section endommagée avec découpe verticale ;
- Rabotage des rives ;
- Reprofilage en enrobé à chaud (couche d'accrochage)

❖ Nid-de-poule

Cavité de la surface de chaussée due à des départs de matériaux.



Figure II.14 : Nid-de-poule

Ses causes sont

- Stade ultime de dégradation (notamment le faïençage) ;
- Défaut localisé de la couche de roulement ou de base lors de la fabrication ou de la mise en œuvre des matériaux.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Atteinte à la sécurité des vols en phase de roulage ;
- Infiltration d'eau massive dans le corps de chaussée.

Compte tenu des conséquences sur la sécurité des vols, ce type de dégradation nécessite un colmatage urgent.

Intervention possible

- Découpage soigné du contour du nid-de-poule ;
- Enlèvement des produits
- Mise en œuvre d'enrobé à chaud (couche d'accrochage préalable).

II.2.2. Chaussées rigides**II.2.2.1. Dégradation de structure****❖ Fissures (longitudinale, transversale, oblique)**

Elles se manifestent par la rupture de la dalle en deux morceaux sauf si celle-ci concerne un coin de dalle.



Figure II.15 : Fissure de gravité moyenne

Ses causes sont

- Portance insuffisante (épaisseur trop faible de la dalle, résistance insuffisante du béton à la traction...);
- Dégradation des conditions d'appui de la dalle (tassement ou érosion du sol de fondation);
- Sciage trop tardif des joints à la mise en œuvre (fissure transversale);
- Saignée pour balisage axial favorisant l'effet d'entaille sous fortes sollicitations, telles celles exercées par le B747 (fissure longitudinale);
- Dimensions excessives de la dalle par rapport à son épaisseur donnant lieu à des contraintes thermiques importantes.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée;
- Modification des conditions de fonctionnement de la dalle (perte de portance);
- Altération de l'uni (fissure transversale);
- Départ de matériaux;
- Fracture.

❖ Fissure en coin/Cassure d'angle

Rupture de la dalle en deux morceaux, les intersections de la fissure avec les bords de la dalle étant situées dans le quart de dalle adjacent au coin considéré.



Figure II.16 : Fissure d'angle

Ses causes sont

- mauvaises conditions d'appui de la dalle et de transfert de charge combinées à la répétition des charges.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Modification des conditions de fonctionnement de la dalle (transfert de charge) ;
- Affaissement localisé, d'où altération de l'uni et de l'adhérence (rétention d'eau) ;
- Départ de matériaux.

❖ Fracture

Rupture de la dalle en plus de deux morceaux, les fissures étant longitudinales, transversales ou obliques. Les cassures d'angle ne sont pas à prendre en compte dans le dénombrement des morceaux de dalle.



Figure II.17 : Fracture de dalle en trois morceaux

Ses causes sont

- Portance insuffisante (épaisseur trop faible de la dalle, résistance insuffisante du béton à la traction...) ;
- Dégradation des conditions d'appui de la dalle (tassement ou érosion du sol de fondation).

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Modification des conditions de fonctionnement de la dalle (transfert de charge) ;
- Affaissement localisé, d'où altération de l'uni et de l'adhérence (rétention d'eau) ;
- Départ de matériaux.

❖ *Pompage*

Remontée d'eau accompagnée éventuellement de fines à travers les joints ou les fissures.



Figure II.18 : Pompage sur joints de construction et joints de retrait sur voie de circulation

Ses causes sont

Dégradation des conditions d'appui de la dalle en présence d'eau due aux sollicitations dynamiques (les battements de dalles sous charge génèrent des mouvements d'eau sous pression aux interfaces dalles fondation qui provoquent des remontées d'eau et de fines à travers les joints ou les fissures).

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Chute de portance ;
- Formation de cavités dans la couche de fondation ;
- Altération de l'adhérence ;
- Mise en marche d'escalier.

❖ *Décalage/Marche*

Différence de niveau entre deux dalles successives ou les lèvres d'une fissure. Une épaufrure avec départ de matériaux ne constitue pas une marche.



Figure II.19 : Décalage/Marche

Ses causes sont

- Pompage;
- Tassement différentiel du sol de fondation.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Altération de l'uni ;
- Modification des conditions de fonctionnement de la dalle (transfert de charge) ;
- Altération de l'adhérence (rétention d'eau).

II.2.2.2. Dégradation de surface**❖ Épaufrure**

Bris du bord de la dalle en coin ou en partie courante à moins de 30 cm du joint ; généralement cette dégradation affecte simplement une partie de l'épaisseur de la dalle.



Figure II.20 : Epaufrure

Ses causes sont

- Présence de matériaux incompressibles dans les joints (défaut d'entretien des joints) ;
- Faiblesse du béton face aux sollicitations dynamiques amplifiée par le sciage du joint (effet d'entaille) ;

- Résistance à la compression du béton insuffisante ;
- Détérioration locale du béton par un sciage prématuré.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Départ de matériaux.

❖ Faïençage/Ecaillage

Faïençage : Ensemble de petites fissures formant un maillage serré affectant la surface de la dalle pouvant évoluer vers l'écaillage.

Écaillage : Départ par petites plaques (écailles) de la pellicule de laitance en surface de la dalle.



Figure II.21 : Ecaillage/Faïençage

Ses causes sont

- Défaut de mise en œuvre (remontées de laitance) ;
- Effets thermiques (variation de température, gel dégel) ;
- Chocs thermiques (thermo soufflante, réacteurs) ;
- Produits déverglaçants.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Porosité du béton néfaste dans les régions soumises au gel ;
- Altération de l'uni ;
- Départ de matériaux.

II.2.2.3. Dégradation de joints**❖ Défaut de joint**

Le joint est défectueux lorsqu'il n'assure plus la fonction d'étanchéité



Figure II.22 : Défaut de joint (mauvaise adhérence relevée par la présence de végétation)

Ses causes sont

- Défaut du produit pour joint (vieillesse, durcissement, mauvaise adhérence, décollement, incompatibilité entre produits...)
- Défaut de mise en œuvre (nettoyage insuffisant du corps de joint avant application du produit, rapport incorrect entre la largeur et la profondeur du joint, absence de fond de joint) ;
- Actions thermiques, chimiques et mécaniques diverses (souffle des réacteurs d'avions, thermo soufflage, kérosène, acides...)
- Arrachement du produit pour joint.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- Accumulation de cailloux, de terre ou de végétation ;
- Risque d'épaufrures.

❖ *Réparation ponctuelle dégradée*

Réparation ponctuelle, quel que soit son origine, à l'exception des scellements de fissures, concernant une fraction de dalle supérieure ou égale à 0,5 m² et présentant des dégradations sur sa surface ou son contour.



Figure II.23 : Réparation ponctuelle dégradée

Ses causes sont

- Défaut de mise en œuvre des matériaux d'apport.

L'examen du type des dégradations apparaissant à sa surface permet de mieux cerner la nature du défaut (se référer pour cela au paragraphe « causes possibles » de la dégradation rencontrée).

Ses conséquences et ses évolutions sont

Elles sont identiques à celles qui prévalent pour les dégradations apparaissant à la surface de la réparation.

❖ *Dépôt de gomme*

Dépôt de caoutchouc localisé dans la zone de toucher des roues.



Figure II.24 : Dépôt de gomme

Ses causes sont

Usure des pneumatiques des avions lors de la mise en rotation des roues aux atterrissages.

Ses conséquences et ses évolutions sont

- Altération de l'adhérence ;
- Altération de la visibilité du balisage diurne.

II.2.3. Indications complémentaires

Tableau II.1 : Indications supplémentaires sur le relevé de dégradations

Type de dégradations	Action	Remarque
Dégradation présentant des départs de matériaux	Attribuer à la dégradation un niveau élevé	Très important : on entend par « départ de matériaux » des départs pouvant sérieusement porter préjudice à la sécurité des aéronefs.
Fissures réparée	Attribuer à la fissure un niveau de gravité léger si la réparation est encore en bon état. La considérer non réparée dans le cas contraire.	-
Existence de plusieurs dégradations de même type avec différents niveaux de gravité sur une même maille	Les répertorier en sommant les quantités relevées par niveaux de gravité.	-
Dégradation apparaissant à la surface ou sur le pourtour d'une réparation	Ne pas la comptabiliser	L'importance des dégradations est prise en compte d'une façon globale dans le niveau de gravité de la réparation.
Section de chaussée avec un faïençage de retrait généralisé	Aucune fissure ne doit être comptabilisée	-
Coexistence d'une fissure longitudinale, transversale ou oblique ou d'une fracture et de fissures en coin	Répertorier séparément chacune des dégradations.	Le comptage des morceaux de dalle nécessaire au repérage des fractures ne doit pas tenir compte de la fragmentation due aux fissures de coin.
Dalle présentant plusieurs fissure en coin, plusieurs épaufrures, plusieurs zones « écaillées » ou encore plusieurs réparations avec des niveaux de gravité différents	Répertorier la dégradation en cause une seule fois avec son niveau de gravité le plus élevé.	-

II.3. Dégradation de l'aérodrome d'Alger

II.3.1. Méthodologie de travail

Les relevés de dégradations ont été effectués sur des sections homogènes appelées mailles de relevés de 500 m² environ. La méthodologie du relevé a été appliquée suivant le guide des recommandations du STBA, afin de bien relever et quantifier les dégradations existantes sur le corps de chaussée de la piste, les relevés ont été effectués rigoureusement et ceci sur des mailles de 25 m² (des mailles de 5mx5m), pour cela on a opté pour un système de quadrillage à l'aide des cordes. Les dégradations sont alors portées sur des feuilles de relevé au format A3 (quadrillées elles aussi), le nombre total des mailles relevées est de 8400 mailles.



Figure II.25 : Maillage

II.3.2. Résultat de relevé

Conformément aux recommandations du catalogue de dégradation du STBA, chaque dégradation est répertoriée à l'aide du triplet d'informations suivant :

- Le type de la dégradation,
- Le niveau de gravité : léger (L), moyen (M) ou élevé (E),
- La densité de dégradation dans la maille considérée,

Les principaux types de dégradations relevés sur la chaussée sont :

- a) Fissurations : fissures longitudinales avec ramifications, fissures transversales, fissures de joints (ouverts, colmatés),
- b) Faïençage.
- c) Remontés d'eaux et de fines.
- d) Déformations (flache ou orniérage).
- e) Autres (Enrobé poreux, dépôt de gomme, présence de végétation... etc.)

II.3.2.1. Fissure

Selon l'examen visuel c'est la dégradation la plus répandue et la plus alarmante, on retrouve :

- **fissure de transversale**



Figure II.26 : Fissure transversale sur l'aérodrome d'Alger

Ces dernières sont observées et de manière récurrente sur les bords de la chaussées.

- **Fissure de joints**

On a constaté la présence de fissures longitudinales de joint qui longent toute la piste sur les deux cotés à 15 mètres des bords de la piste ainsi au centre de la piste. Une bonne partie de ces fissures ont été colmatée auparavant dans le cadre d'opérations d'entretien courant.

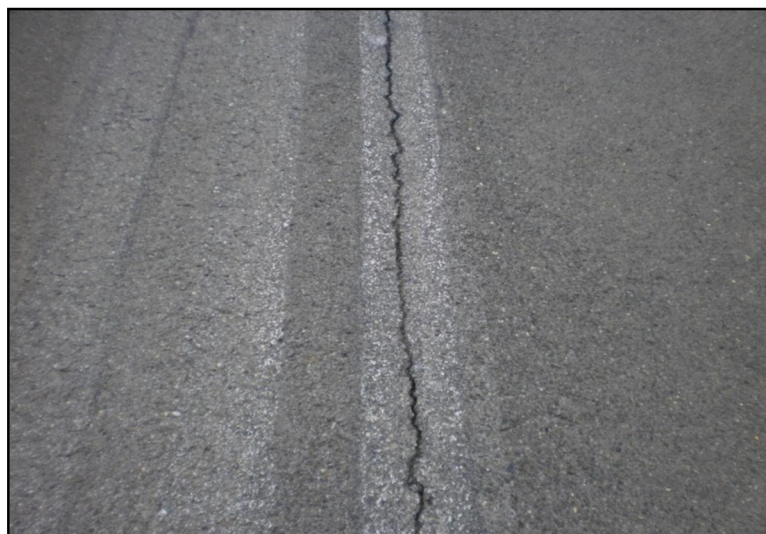


Figure II. 27 : Fissure de joint sur l'aérodrome d'Alger

- **Fissure de fatigue**



Figure II.28 : Fissure de fatigue sur l'aérodrome d'Alger

Ces fissures ont une ouverture supérieure à 5 mm accompagnées d'un départ de matériaux et des ramifications. Elles sont localisées dans les traces des atterrisseurs (sur les 20 mètres centraux).

Note

Il est à noter que certaines fissures qui ont été traitées (par pontage) ont connus une réouverture ceci indique le caractère actif de ces fissures.



Figure II.29 : Fissure de fatigue traitée par pontage

- **Remontées d'eau ou de fines**

Cela se présente sous forme d'une zone humide d'eaux provenant du corps de chaussée et remontant à travers les points faibles de la couche de roulement, Elles sont relevées essentiellement dans les cotés latéraux de la piste au niveau des fissures de retrait et fissures de joints.



Figure II.30 : Remontées d'eau ou de fines sur l'aérodrome d'Alger

II.3.2.2. Flache

Les niveaux de gravité dépendent de la nature de la chaussée. Ils s'établissent en fonction de la profondeur maximale p mesurée sous la règle de 3 mètres. Elles ne sont pas nombreuses et se sont de niveau léger.



Figure II.31 : Flache sur l'aérodrome d'Alger

II.3.2.3. Autre type de dégradation

- **Dépôt de gomme**

Cette dégradation qui est dû à l'usure des pneumatiques des avions lors de la mise en rotation des roues aux atterrissages a été observée pratiquement sur toute la longueur de la piste mais

elle se concentre dans la zone de premier contact d'atterrisseurs. Ceci peut engendrer en conséquence une altération de l'adhérence.



Figure II.32 : Dépôt de gomme sur l'aérodrome d'Alger

- **Enrobé poreux**

Enrobé ayant un aspect ouvert soit en milieu de bande de répandage, soit au niveau du joint entre bandes.

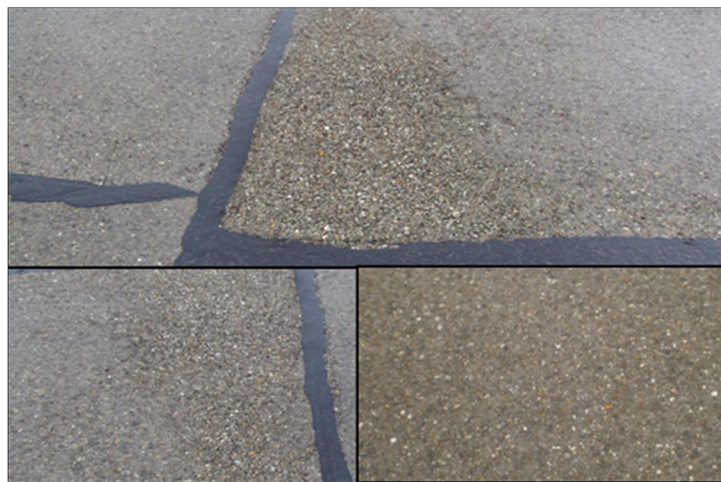


Figure II.33 : Enrobé Poreux

En dehors des dégradations citées précédemment et qui sont répertorié dans le catalogue de dégradation du STBA, on signale les singularités suivantes :

- **Excès de pontage**



Figure II.34 : Excès de pontage sur l'aérodrome d'Alger

Des excès de mastic de pontage ont été relevés ce qui génère une mauvaise cohésion entre les atterrisseurs de l'avion et la chaussée ainsi provoquent l'altération de l'uni.

- **Cisaillement de câbles de précontrainte**



Figure II.35 : Cisaillement de câbles de précontrainte sur l'aérodrome

- **Présence de végétation**



Figure II.36 : Présence de végétations sur l'aérodrome

Des arbustes existent au niveau des réservations des câbles d'alimentation de balisage lumineux.

II.3.3. Conclusion

Les dégradations relevées sur les pistes et le taxiway confirment que les problèmes rencontrés sont d'ordre structurel. Toute fois, il est indispensable de calculer l'indice de service pour confirmer les suppositions émises sur l'état des pistes.

II.4. Inspection visuelle de l'aérodrome

L'entretien d'une chaussée n'est pas une tâche aisée. Il pose essentiellement un problème bivalent : quand intervenir et sous quelle forme ?

Cela a conduit au fil des années à une prise de conscience du ministère des travaux publics, de la nécessité d'une politique d'entretien rationnelle fondée sur un système de gestion approprié.

Le point de départ fut une vaste étude, dont l'aboutissement est la conception d'un logiciel « *Système de Gestion des Bases Aériennes – SGBA* » le développement d'un nouvel outil de mesure : « *l'Indice de service* »

II.4.1. Définition

Les chaussées aéronautiques doivent être régulièrement évaluées afin de suivre leur état de service. Pour cela, l'inspection visuelle permet de deceler rapidement d'éventuels problèmes d'intégrité de surface ou de structure.

La méthode de l'indice de service qui est développée ci-après, constitue l'outil de référence pour la majorité des aérodrômes. De mise en œuvre rapide, pour la circulation aérienne, elle fournit une masse importante d'informations sur l'état des chaussées, cette masse d'information constitue une aide précieuse à la décision en matière d'entretien, de réfection, d'auscultation lourde et d'adéquation de la portance déclarée à la capacité réelle de la chaussées.

L'indice de service est un indicateur d'état numérique représentatif de l'état de la chaussée. Il peut prendre des valeurs comprises entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve). Ainsi sa valeur croît avec le niveau de service offert par la chaussée, les correspondances étant les suivantes :

Tableau II.2 Interprétation de l'indice de service

I.S	Niveau de service
0-10	Hors service
10-25	Très mauvais
25-40	Mauvais
40-55	Passable
55-70	Moyen
70-85	Bon
85-100	Très bon

II.4.2. La méthode de l'indice de service

Au départ, les relevés sont entrepris sur chaque section caractéristique aussi bien quant à la structure de la chaussée (âge et composition du corps de chaussée) que quant à la nature du trafic qu'elle reçoit. Pour les chaussées souples, ces sections caractéristiques sont divisées en tronçons élémentaires de 500 m² environ, appelés mailles de relevé. Dans le cas des chaussées rigides, chaque maille réunit généralement une vingtaine de dalles, ce qui correspond à une même surface de 500 m² pour des dalles de 5m x 5m.

La procédure utilisée consiste à enregistrer, maille par maille, les dégradations observées conformément aux recommandations du Catalogue des dégradations édité par le STBA

La méthode repose sur le passage de chaque triplet (type de dégradation relevé, niveau de gravité, densité) à une valeur numérique significative de l'influence de cette dégradation sur les qualités de la chaussée.

- Déterminer une valeur numérique significative déduite (VD) de l'influence de cette dégradation sur les qualités de la chaussée tirée à l'aide d'un abaque propre au type de dégradation.

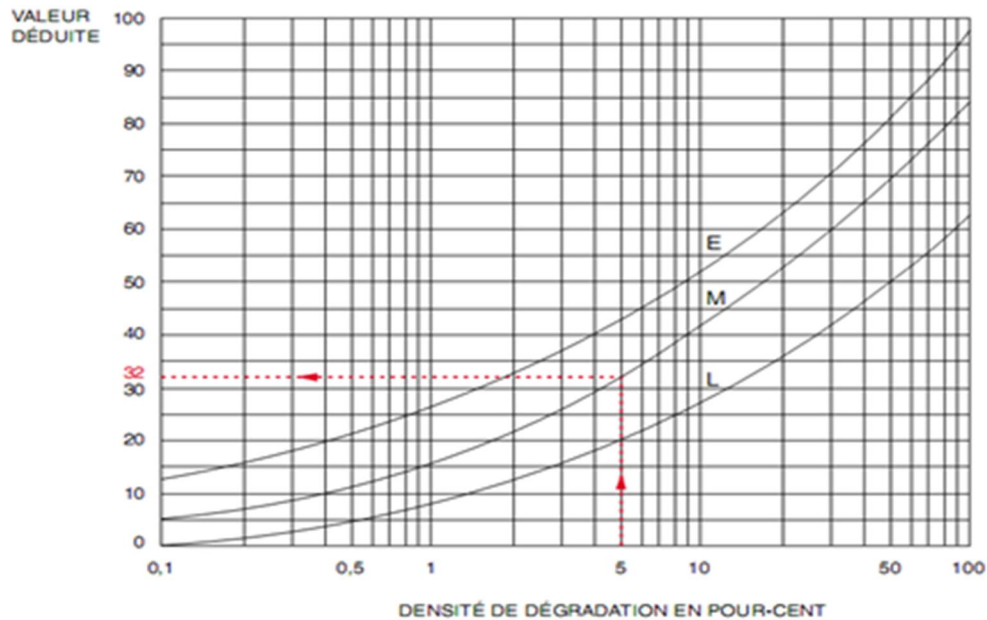


Figure II.37 : Abaque correspondant à une flache sur chaussée souple

- Une valeur déduite (VDT) est déterminée pour une maille par la sommation des valeurs déduites pour chaque dégradation.
- La VDT est corrigée au moyen d'un deuxième abaque qui tient compte du nombre q de dégradations significatives (dont les valeurs déduites sont supérieures à 5).

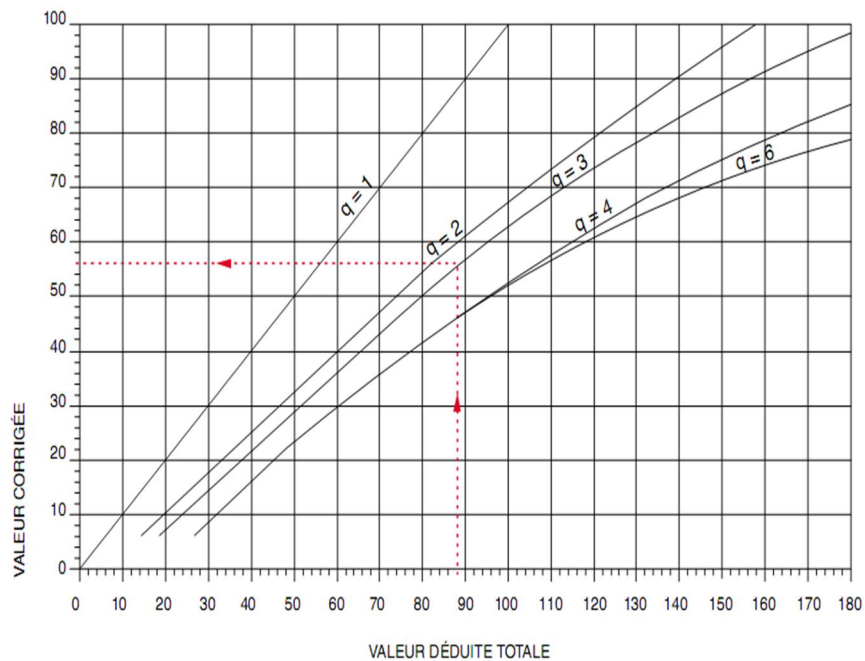


Figure II.38 : Abaque apportant correction à la valeur déduite totale

- L'indice de service de chaque maille est égal au complément à 100 de la valeur déduite corrigée de la maille.

$$IS = 100 - VDC$$

Finalement, l'indice de service de la section caractéristique sera la moyenne arithmétique des indices de service des différentes mailles la composant.

L'indice de service à partir de l'ensemble des dégradations observé s'appelle « indice de service globale »

- **L'indice de service global** indice calculé à partir du traitement de l'ensemble des dégradations rencontrées sur la chaussée qui donne son état global.
- **L'indice de service structurel** calculé uniquement à partir des dégradations révélant un défaut de portance.
- **L'indice de service superficiel** calculé uniquement à partir des dégradations révélant un défaut de surface.

Le tableau II.3 donne les différentes dégradations en fonction de leurs types :

Tableau II.3 : types de dégradations

	Dégradation relevant d'un défaut de structure	Dégradation relevant d'un défaut de surface
<i>Chaussée souple</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Flache - Ornière - Fissure de fatigue - Faïençage de fatigue - Déformation en W - Gonflement - Tassement différentiel - Remontée d'eau - Remontée de fines 	<ul style="list-style-type: none"> - Désenrobage – brûlure - Enrobés poreux - Fissure de retrait - Faïençage de retrait - Réparation dégradée - Contamination - Dépôt de gomme - Poinçonnement - Ressuage - Fissure parabolique - Nid de poule - Pelade
<i>Chaussée rigide</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Fissure - Fracture - Fissure en coin - Pompage - Décalage – marche 	<ul style="list-style-type: none"> - Epaufrure - Faïençage – écaillage - Réparation ponctuelle dégradée - Défaut de joint - Dépôt de gomme

II.4.3. Méthodologie Algérienne de calcul de l'indice de service

Le ministère des travaux publics, en collaboration avec l'organisme national de *Contrôle Technique des Travaux Publics* (CTTP) ont élaboré un logiciel nommé « *Système de Gestion des Bases Aériennes* (SGBA) qui calcule l'indice de service ».

a. Principe du logiciel

Le SGBA est un logiciel de gestion de traitement des données aéronautiques qui consiste à traiter toutes les données relevant de l'état visuelle de la chaussée. Ensuite à l'aide des tables

et des fiches qu'il comporte (type de dégradation, nom de l'aérodrome) le logiciel peut calculer l'indice de service, et donner les travaux d'entretien qui devront se réaliser.

b. Détermination de l'indice de service de l'aérodrome d'ALGER

Le tableau II.4 donne les indices de service des deux pistes de l'aérodrome d'Alger :

Tableau II.4 : l'indice de service de l'aérodrome d'ALGER

		IS Globale	IS Structurel	IS Superficiel
Piste principale 05/23	Section 1	46,80	67,11	72,16
	Section 2	71,17	79,65	80,41
Piste secondaire 09/27	Section 1	73.43	94.50	76.70
	Section 2	81.41	90.45	87.76

La détermination du type d'entretien est basée sur la comparaison des indices calculés, par rapport à des seuils établis à partir de la connaissance des travaux survenus sur des aérodromes ayant fait l'objet de relevé de dégradations. L'organigramme suivant montre le principe général du système de gestion.

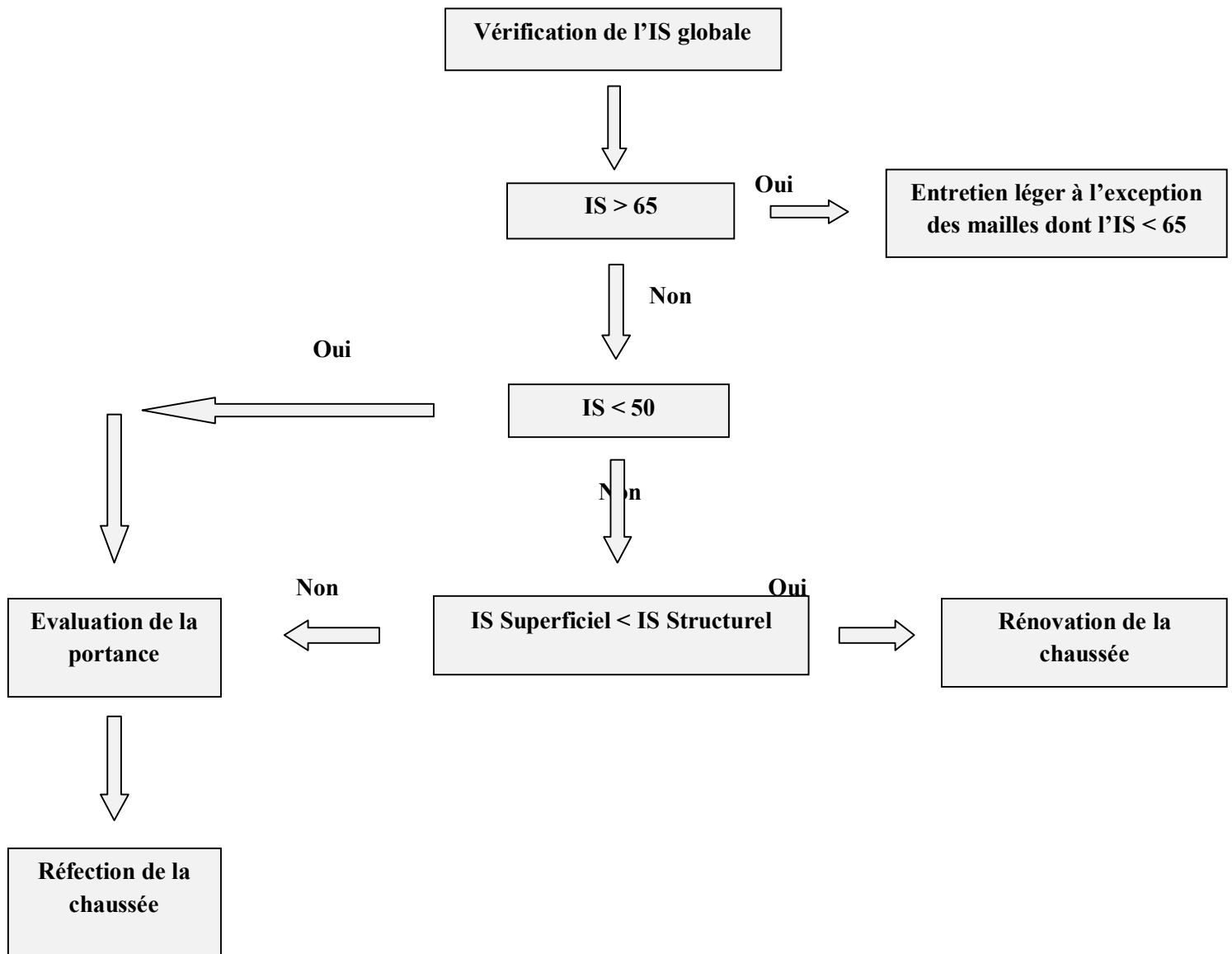


Figure II.39 : Organigramme de l'indice de service

II.5. Conclusion

La nature des dégradations observées montre que la chaussée de la piste décèle un défaut de portance ou de fatigue du corps de chaussée. Ce défaut de portance est dû principalement à la fatigue du corps de chaussée sur sa partie constituée en dalle de béton précontraint. Cette dalle datant de l'année 1954, a subi tout au long de sa vie un nombre important de cycles de chargement/déchargement, en plus de la relaxation des câbles de précontrainte. Le climat (gradient thermique élevé), l'âge de l'enrobé bitumineux dépassant les 22 ans ainsi que l'accroissement du trafic influent négativement sur la capacité portante de la chaussée.

Les images montrant la relaxation et le cisaillement des câbles de précontrainte (figure II.35) et les fissures apparentes sur ses dalles prouvent d'après les experts qui ont analysé ce cas (SAETI, DTP, CTP) ; que la précontrainte n'existe pratiquement plus sur ces dalles, et on peut considérer ces dalle comme des dalles de béton de ciment.

Pour cela, il est vivement recommandé de faire des travaux de renforcement des chaussées pour les raisons suivantes :

- Il est nécessaire de remédier aux insuffisances de portance.
- L'ampleur des dégradations de surface devient néfaste pour la circulation des aéronefs.
- Les valeurs de PCN résiduelles des chaussées n'autorisent pas l'utilisation des pistes par certains aéronefs.
- L'indice de service de la première section de la piste principale est inférieur à 50 ce qui nécessite une amélioration.
- La piste secondaire va se dégrader davantage lors de la fermeture de la piste principale pour les travaux de son renforcement entraînant le rabattement de la totalité du trafic sur la piste secondaire.

Chapitre III

Auscultation

III.1. Introduction

Il convient, avant toute autre considération, de faire observer qu'il ne peut y avoir de gestion efficace des chaussées aéronautiques sans un suivi régulier et rigoureux de leur état de surface et de leur structure.

Le suivi des chaussées aéronautiques consiste à évaluer périodiquement des indicateurs d'état qui caractérisent notamment la portance, l'uni, l'adhérence, l'état de surface,...etc. Ces indicateurs sont évalués au moyen d'essais spécifiques.

III.2. Auscultation

III.2.1. Contrôle de l'uni

L'uni d'une chaussée est un critère de qualité géométrique. Il caractérise l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée par rapport à ses profils théoriques.

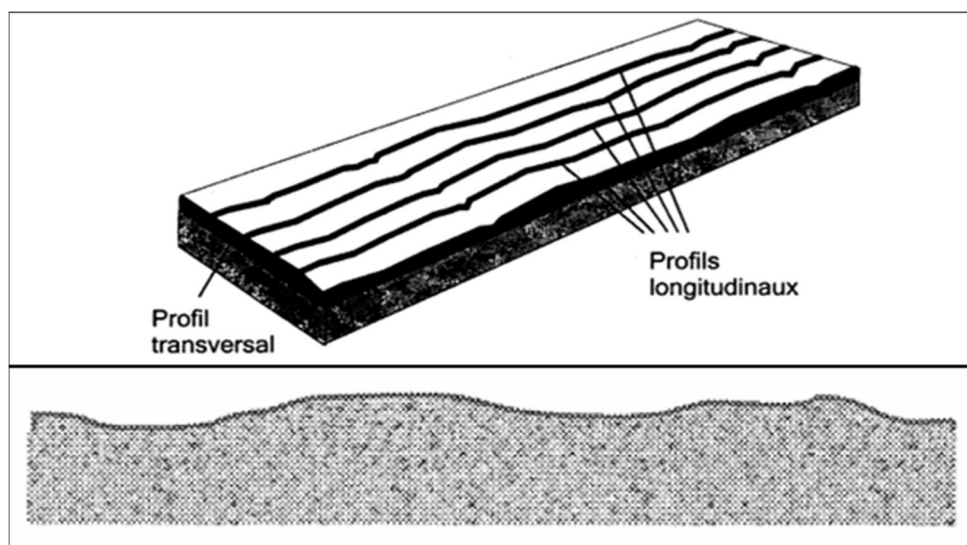


Figure III.1 : Uni d'une chaussée

Les conséquences d'un mauvais uni de la piste pèsent à la fois sur l'avion et sur la chaussée elle-même, sont : Sur l'avion d'abord, elles sont à l'origine de vibrations et d'accélération verticales pouvant, lorsqu'elles sont excessives, provoquer des difficultés de pilotage. Sur la chaussée elle-même, le roulage à grande vitesse des avions sur certains défauts d'uni provoque localement des efforts dynamiques tendant à accentuer les dits défauts, voire même à entraîner un processus de dégradation.

❖ IRI (International Roughness Index)

L'IRI, indice de planéité internationale, est un indice de mesure de l'uni d'une chaussée aéronautique. L'IRI est une unité de mesure internationale comportant certains avantages :

- Applicable à tous les types de pistes
- Peut être calculé à partir des relevées

En France, on utilise l'**analyseur de profil en long (APL)** pour effectuer le contrôle de l'uni longitudinal des chaussées aéronautiques. D'autres méthodes existent également en particulier la méthode des bosses (Bump method) développée par Boeing.

En Algérie, le matériel utilisé par le CTPP pour les mesures d'uni est **RSP 5051 Mark IV**. C'est un analyseur de profils en long conçu par dynatest pour le contrôle de l'uni longitudinal des chaussées aéronautiques.



Figure III.2 : Analyseur de profil en long

Le suivi du profil en long fait parti du programme général de suivi des aérodrômes. Les défauts de qualité d'uni renseignent, dans une certaine mesure, sur les insuffisances structurelles.

III.2.2. Contrôle de l'adhérence

L'Adhérence d'une chaussée correspond à sa capacité à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique d'un avion et la surface du revêtement de la chaussée sous l'effet des sollicitations engendrées : accélérations, freinages, changements de direction.

L'adhérence entre les pneumatiques d'un avion et la piste est essentielle : la mise en rotation des roues lors de l'atterrissage, le contrôle de la direction au roulage et surtout le freinage, sont des facteurs importants de sécurité. Différents facteurs interviennent sur l'adhérence d'une chaussée mouillée (mais non polluée par la présence de neige, glace), tels que la vitesse de l'avion, les caractéristiques et la pression des pneumatiques, l'épaisseur du film d'eau sur la chaussée, ou encore la rugosité du revêtement.

Le STAC et Aéroports de Paris ont développés l'**Instrument de Mesure Automatique de Glissance (IMAG)** permettant de mesurer le coefficient de frottement longitudinal intrinsèque dit adhérence fonctionnelle. Il s'agit d'une remorque sur laquelle est installée une troisième roue dédiée à la mesure. Le principe est relativement simple : la roue de mesure, lestée, est tractée à vitesse constante et freinée suivant un taux de glissement de 15 %. Des capteurs enregistrent les efforts en continu lors de l'essai.

Les mesures s'effectuent sur chaussée sèche et propre. Un système de mouillage embarqué dans le véhicule tracteur permet de réaliser des essais sous un film d'eau de 1 mm.

D'autres appareils auto-mouillants de mesure continue du frottement existent pour effectuer des mesures de même type.



Figure III.3 : Mesure automatique de la glissance (la remorque IRV)

III.2.3.1. Evaluation de la portance

La portance des chaussées peut-être mesurée à l'aide de deux types d'appareils : la remorque de portance et le HWD (Heavy Weight Deflectometer).

III.2.3.1. Remorque de portance

La remorque de portance du STAC permet une auscultation lourde, et a pour principe d'appliquer sur la chaussée, à l'aide d'un vérin, une charge comparable à celle d'une roue d'avion. La charge admissible de la chaussée est déduite directement par l'analyse de la réponse de la chaussée sous l'application répétée d'une charge. Le matériel d'essai est constitué d'un tracteur et d'une remorque.

La remorque sert de massif de réaction pour les essais. Elle est pourvue de deux caissons de 20 m³ servant de lest qui porte sa masse à 60 tonnes.



Figure III.4 : Remorque de portance

Cas des chaussées souples

C'est le comportement à la fatigue du complexe chaussée/sol de fondation qui est étudié. La chaussée est soumise à des cycles de chargement/déchargement sous des charges croissantes en mesurant pendant chaque cycle les déformations de la chaussée.

Cas des chaussées rigides

Le principe consiste à déterminer la charge produisant une déformation à la flexion égale à la déformation admissible du béton. L'essai est réalisé à l'endroit le plus fragile, et l'expérience montre qu'il s'agit généralement du coin de dalle.

III.2.3.2. Défectomètre à charge tombante ou HWD

(*Heavy Weight Deflectometer*) est un appareil plus léger conçu pour simuler et mesurer les sollicitations d'une charge roulante sur une chaussée par application d'un chargement impulsif sur une plaque circulaire.

La charge dynamique, appliquée sur la chaussée et mesurée par un capteur d'effort, provoque un bassin de déflexion qui est mesuré.

La force dynamique appliquée, fixée par la hauteur de chute de la masse, est adaptée en fonction de la nature de la structure testée.

Le CTTP possède un défectomètre lourd à masse tombante de marque Dynatest, modèle 8081. Il est capable d'appliquer une force dynamique équivalente jusqu'à 240 kN environ à la surface de la chaussée en utilisant une plaque de diamètre de 300 mm ou 450 mm. De cette façon le HWD simule l'impact d'une charge induite par le mouvement d'un avion lourd.



Figure III.5 : Appareil d'acquisition HWD 8081

Le contrôle de l'opération d'acquisitions des données HWD est assisté par un ordinateur à partir du véhicule tracteur. Le dispositif d'acquisition est composé de :

- ❖ Un ordinateur de bord muni d'un logiciel d'acquisition FWDWIN et d'une imprimante à jet d'encre.
- ❖ Une remorque composée d'une cellule de chargement de 9 capteurs (géophones positionnée sur la surface) et d'un d'indicateur de température (de l'air ambiant et de la couche de surface).

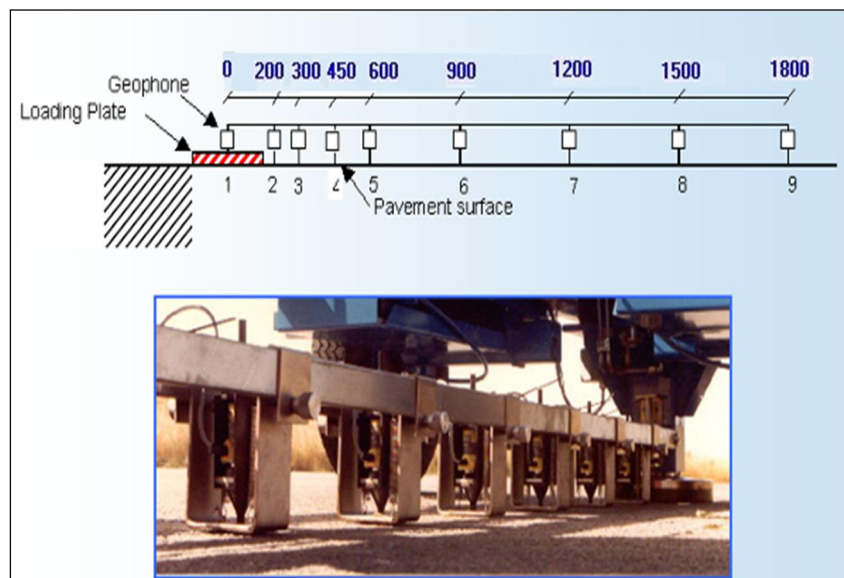


Figure III.6 : Géophones de mesure

- ❖ Une plaque de 300 mm ou 450 mm qui peut s'incliner jusqu'à 6° pour épouser la forme de la chaussée.

III.2.4. Géoradar

Le Géoradar (en anglais GPR pour Ground penetrating radar) est une technique de prospection géophysique non destructive fondée sur l'analyse des phénomènes de propagation

(réfraction, réflexion et diffraction) des ondes électromagnétiques hautes fréquences (10 MHz à 2 GHz) dans le sous-sol. Le géoradar peut être utilisé pour étudier la disposition et l'épaisseur des différentes couches de terrain au préalable à différents types de travaux.

L'utilisation judicieuse du géoradar peut permettre un gain d'efficacité et de temps lors de travaux et apporter une sécurité supplémentaire en prévenant des dommages lors de creusement et percements.



Figure III.7 : Géoradar portatif

❖ *Principe du Géoradar*

Le géoradar (ou radar géologique) constitue l'une des méthodes géophysiques (sismique, électrique, magnétique, gravimétrique...) susceptible de fournir des informations sur la distribution, la nature, et la composition des matériaux composant le sous-sol terrestre. Le géoradar repose sur l'interprétation des signaux détectés en réflexion ou transmission suite à leur propagation dans le sous-sol. L'allure des signaux est intrinsèquement reliée aux contrastes de permittivités et de conductivités électriques dans un milieu aux propriétés particulièrement hétérogènes, atténuantes et dispersives.

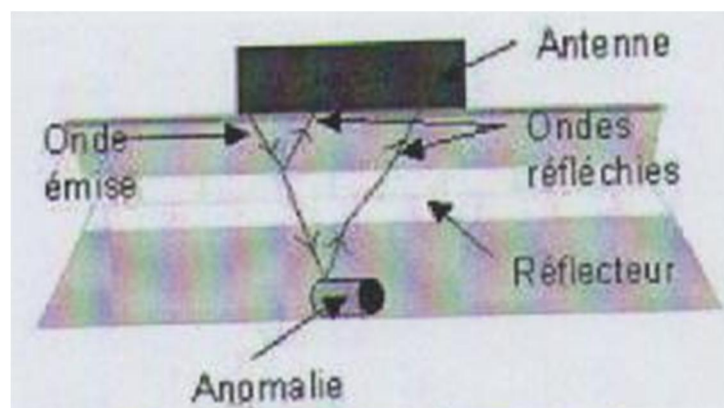


Figure III.8 : Principe de la mesure radar

III.3. Résultat d'auscultation de l'aérodrome d'Alger

III.3.1. Introduction

Dans le cadre d'une étude de renforcement des infrastructures de l'aérodrome d'Alger, le bureau d'études (SAETI), ont réalisé une campagne d'auscultation des infrastructures de l'aéroport de Houari Boumediene. Cette campagne a pour objectif l'évaluation et la cartographie des chaussées aéronautique.

L'auscultation des infrastructures de l'aérodrome est principalement réalisée par l'essai Géoradar.

III.3.2. Présentations

Les signaux radar se présentent sous la forme d'une coupe 2-D avec :

- En abscisse, la distance à l'origine
- En ordonnée la profondeur d'investigation
- Le zéro horizontal est à l'origine du profil
- La profondeur est donnée depuis la surface du sol

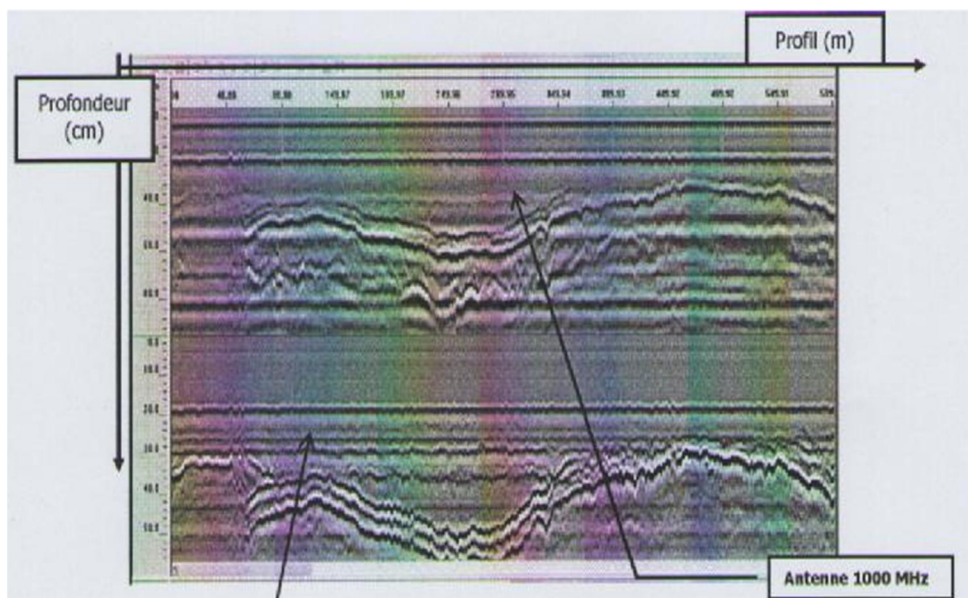


Figure III.9 : Exemple de radargramme SIR20

Ce radargramme est ensuite traité avec un pointage des différentes couches, qui nous donnera donc une valeur de la profondeur de chaque couche tous les 50 cm.

Ce radargramme est ensuite traité avec un pointage de l'interface entre les différentes couches tous les 50 cm.

La différence de profondeur entre deux interfaces nous donnera donc une valeur de la profondeur de la couche.

La différence entre la profondeur de l'interface de deux couches donnera l'épaisseur de la couche.

Ces mesures permettront d'établir une cartographie des couches pour chaque infrastructure.

III.3.3. Mesure

L'étude de renforcement nécessite la mobilisation de plusieurs domaines de compétences afin de préconiser la meilleure solution possible.

Les chaussées rigides répartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement. Le sol support est peu sollicité à cause de cette large répartition de ce fait, la fatigue de la chaussée ne s'amorcera pas dans le sol support, mais dans la dalle lorsque celle-ci, perdant ses caractéristiques mécaniques par effet de fatigue, ne pourra plus résister à la déformation due au trafic.

Les chaussées souples montrent des signes de fatigue lorsque le sol support qui ne peut plus exercer une réaction égale à la charge appliquée, les couches supérieures lâchent alors à leur tour.

L'auscultation à l'aide du radar géophysique permet de donner en continu (deux mesures par mètre) l'épaisseur des différentes couches de la chaussée.

Elle permet de mettre en évidence certaines anomalies (vides, décollement ou décompressions) et de définir différentes zones homogènes soit de part leur structure, soit par le type de dégradation subies pour chaque infrastructures.

Le radar géophysique apportera donc une aide décisionnelle certaine dans ce processus de renforcement.

III.3.3.1. piste principal 05/23

Les mesures effectuées indiquent la présence de deux parties :

❖ **Structure mixte sur dalle précontrainte**

1. BB : 8 cm
2. GB : 12 cm
3. Dalle de précontrainte : 18 cm

❖ **Structure mixte sur dalle de béton**

1. BB : 8 cm
2. GB : 20 cm
3. Dalle de béton : 37 cm

III.3.3.2. Taxiway 05/23

Les données montrent trois parties :

❖ **Structure mixte sur dalle de béton**

1. BB : 8 cm
2. GB : 12 cm
3. Dalle de béton : 30 cm

❖ **Structure mixte sur dalle précontrainte**

1. BB : 8 cm
2. GB : 12 cm
3. Dalle de précontrainte : 18 cm

❖ **Structure mixte sur dalle de béton**

1. BB : 8 cm
2. GB : 20 cm
3. Dalle de béton : 37 cm

III.3.3.3. Piste secondaire 09/27

La piste secondaire a subi un renforcement avant cette auscultation. La consultation des données indique la présence de trois structures :

❖ **Structure rigide**

1. Béton de ciment : 38 cm
2. Grave ciment : 25 cm
3. GD : 9 cm
4. TVO : 55 cm

❖ **Structure souple**

1. BB : 15 cm
2. GB : 25 cm
3. G Ciment : 25 cm
4. TVO : 50 cm

❖ **Structures mixte**

1. BB : 8 cm
2. GB : 15 cm
3. G Ciment : 20cm
4. Béton précontraint : 16 cm
5. Sable : 3 cm
6. TVO : 3 couches successives de 10 cm

III.3.3.4. Taxiway 09/27

Il se présente sous deux parties :

❖ **Partie rigide**

1. Dalle de béton : 37 cm
2. Grave concassée : 25 cm
3. GD : 10 cm
4. CF : 50 cm

❖ **Partie souple**

1. BB : 15 cm
2. Grave bitume : 25 cm
3. GC : 25 cm
4. CF : 50 cm

III.3.3.5. Parkings

❖ **Parking national**

1. BB : 10 cm
 2. dalle de précontrainte
- ❖ **Glam 2**
1. BB : 10 cm
 2. Dalle de béton : 30 cm

III.4. Conclusion

Il est nécessaire de noter que pour les structures rigides, le Géoradar permet uniquement la détection du ferrailage et vides dans le béton, et ce n'est pas un moyen de contrôle de qualité ou de détermination de l'épaisseur des fissures. A cet effet les résultats les plus intéressants concernent les structures souples et mixtes.

Néanmoins, nous pouvons dire que l'auscultation a permis d'obtenir les données actualisées sur le corps de chaussée des différentes infrastructures de l'aérodrome.

Les données radars requises montrent des anomalies comme les décollements qui fragilisent la chaussée. L'étude a permis de délimiter également avec précision les deux oueds, oued Boutrik et oued Saïd.

Concernant l'évaluation de la chaussée, les effets de sollicitations se traduisent par des déformations des différentes couches voire des tassements pour les sollicitations les plus importantes.

Chapitre IV

Géotechnique

IV.1. Introduction

La géotechnique étudie les caractéristiques mécaniques et physiques des terrains (sols et roches) en vue de leur utilisation comme matériaux ou support de construction. Pour l'élaboration et l'exécution d'un projet, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés. Pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensable, car elle permet :

- En phase d'étude : de bien concevoir le projet (dimensionnement du corps de chaussée, choix de matériaux).
- En phase d'exécution : de réaliser les travaux avec un minimum d'aléas possibles (choix de moyens et de matériels adaptés à la nature du sol, réutilisation des matériaux).
- A long terme : d'assurer la stabilité des ouvrages (talus de remblais ; remblai de grande hauteur).

IV.2. Campagne de reconnaissance géotechnique

Le programme de la campagne de reconnaissance géotechnique porte essentiellement sur la réalisation de quatre sondages carottés de 15m de profondeur chacun équipés de piézomètres, de sept essais de pénétromètre statique et de quatre puits à la tarière avec prélèvement de matériaux.

Les sondages carottés ont permis de récupérer des échantillons intacts paraffinés qui ont fait l'objet d'essais en laboratoire, notamment des essais physiques, d'identification et mécaniques.

- Essais physiques :
 - La densité sèche et la densité humide (NF P 94-053).
 - La teneur en eau (NF P 94-050).
- Essais d'identification :
 - L'analyse granulométrique (NF P 94-056).
 - L'analyse sédimentométrique (NF P 94-057).
 - Les limites d'Atterberg (NF P 94-051).
- Essais mécaniques :
 - Des essais de cisaillement au triaxial.
 - Des essais de cisaillement à la boîte.
 - Des essais oedométriques (NF P 94-090-1).

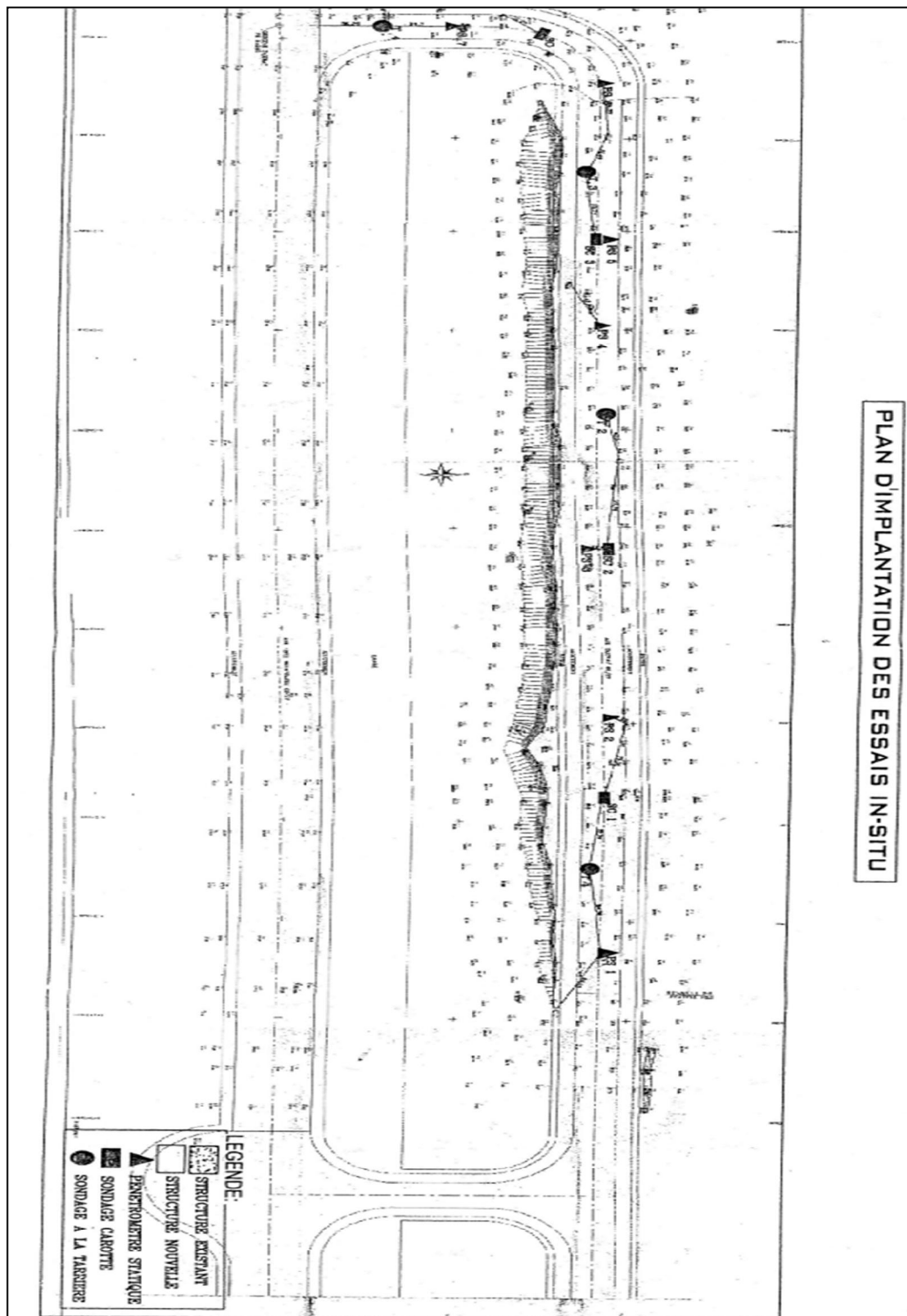


Figure IV.1 : Plan d'implantation des essais in-situ sur le taxiway de la piste secondaire [Rapport géotechnique LCTP]

IV.3. Résultats de la Campagne de reconnaissance géotechnique

Les essais sont faits par le laboratoire LCTP, les résultats trouvés sont les suivants :

IV.3.1. Résultats des sondages carottés

Le tableau 4.1 présente en fonction de la profondeur les principaux terrains rencontrés par des sondages carottés

Tableau IV.1: Résultats des sondages carottés

SONDAGE	PROFONDEUR	DESCRIPTION
Sondage N° : 01	00,00 – 01,70 m	Remblai de nature argilo sableuse graveleuse, brunâtre.
	01,70 – 03,70 m	Sable graveleux.
	03,70 – 07,30 m	Argile sableuse brunâtre renfermant des concrétions calcaires.
	07,30 – 08,50 m	Argile sableuse bariolée reformant des concrétions calcaire, graveleuse.
	08,50 – 11,00 m	Argile sableuse jaunâtre reformant des concrétions calcaire, graveleuse.
	11,00 – 12,70 m	Argile bariolée reformant des concrétions calcaire.
	12,70 – 15,00 m	Argile sableuse jaunâtre, graveleuse, carbonatée.
Sondage N° : 02	00,00 – 06,30 m	Remblai de nature argilo sableuse graveleuse, brunâtre.
	06,30 – 10,00 m	Sable graveleux.
	10,00 – 14,50 m	Argile marneuse grisâtre.
	14,50 – 15,00 m	Argile tourbeuse.
Sondage N° : 03	00,00 – 04,50 m	Remblai de nature argilo sableuse graveleuse, brunâtre.
	04,50 – 07,00 m	Sable jaunâtre, graveleux.
	07,00 – 09,30 m	Argile brunâtre graveleuse avec des traces d'oxydation.
	09,30 – 09,70 m	Sable graveleux.
	09,70 – 10,00 m	Argile brunâtre.
	10,00 – 12,00 m	Sable argilo limoneux, graveleux.
	12,00 – 13,00 m	Argile marneuse sableuse bariolée gris jaunâtre.
Sondage N° : 04	00,00 – 00,50 m	Remblai de nature argilo sableuse graveleuse, brunâtre.
	00,50 – 02,50 m	Sable graveleux.
	02,50 – 05,00 m	Sable avec présence de matière organique et des passages argileux.
	05,00 – 05,30 m	Sable jaunâtre.
	05,30 – 08,70 m	Argile marneuse bariolée.
	08,70 – 09,80 m	Mélange de graves.
	09,80 – 13,40 m	Argile marneuse.
	13,40 – 15,00 m	Argile marneuse bariolée gris jaunâtre.

Profondeur de la nappe

Les levés piézométriques effectués en date du 25/07/2009 ont indiqués les niveaux d'eau par rapport aux niveaux des terrains naturels actuels.

- **Sondage N° 01** : à 5,60m du terrain naturel actuel.
- **Sondage N° 02** : à 6,50m du terrain naturel actuel.
- **Sondage N° 03** : à 5,45m du terrain naturel actuel.
- **Sondage N° 04** : à 5,50m du terrain naturel actuel.

III.3.2. Résultats des puits à la tarière

Le tableau IV.2 donne les résultats obtenus des puits avec les profondeurs.

Tableau IV.2: Résultats des puits

PUITS	PROFONDEUR	DESCRIPTION
Puits N° :01	00,00 – 03,60m	Argile sableuse graveleuse, brunâtre.
Puits N° :02	00,00 – 03,10m	Argile sableuse graveleuse, brunâtre.
Puits N° :03	00,00 – 03,20m	Argile sableuse graveleuse, brunâtre.
Puits N° :04	00,00 – 04,40m	Sable graveleux.

IV.3.3. Résultats des essais au pénétromètre statique

L'essai au pénétromètre statique consiste à faire pénétrer dans le sol une pointe conique portée par un train de tiges et à mesurer de manière continue à des intervalles déterminés la résistance à la pénétration. Les résultats sont présentés sous forme de pénétrogrammes qui montrent la variation de la résistance en fonction de la profondeur. En plus de procurer une indication sur la résistance du sol.

S'il y a refus avant que l'enfoncement soit complété, on doit essayer de donner des précisions. On considère qu'il y a refus si plus de 30 coups sont requis pour pénétrer de 1cm. Si le sol traversé contient des cailloux et des blocs, les valeurs de N seront facilement faussées (plus élevées). Il faut utiliser ces valeurs avec discernement. L'essai doit se faire au moins à chaque 1,5 m.

Tableau IV.3 : Résultats des essais au pénétromètre statique

N° ESSAI	PROFONDEUR	RESISTANCE DE POINTE (bars)	OBSERVATIONS
1	00,20 00,40<P<01,00 01,20<P<01,80 02,00<P<05,60 05,80<P<09,60	31 4<Rp<9 63<Rp<355 4<Rp<20 30<Rp<101	Refus à 9,80m avec Rp = 274 bars
2	00,20<P<04,20 04,40<P<05,40 05,60<P<05,80 06,00<P<30,00 30,20<P<38,20	0<Rp<10 111<Rp<315 18<Rp<48 1<Rp<7 3<Rp<20	Pics à 37,80m avec Rp = 30 bars et à 38,00m avec Rp = 25,00 bars Refus à 38,40m avec Rp = 18 bars
3	00,20<P<02,40 02,60<P<02,80 03,00<P<04,60 04,80<P<05,80 06,00<P<06,60 06,80<P<36,60 36,80<P<38,00	20<Rp<111 32<Rp<37 2<Rp<13 81<Rp<355 11<Rp<28 1<Rp<11 15<Rp<28	Refus à 38,20m avec Rp = 26 bars
4	00,20<P<01,40 01,60<P<03,60 03,80 04,00<P<05,20 05,40<P<15,20	14<Rp<61 1<Rp<8 20 305<Rp<355 10<Rp<76	Refus à 15,40m avec Rp = 18 bars
5	00,20<P<01,80 02,00<P<03,20 03,40<P<04,80 05,00<P<05,20 05,40<P<06,40 06,60<P<14,80	14<Rp<101 1<Rp<3 152<Rp<355 14<Rp<18 6<Rp<10 21<Rp<101	Refus à 15,00m avec Rp = 30 bars
6	0,20 00,40<P<00,80 01,00<P<01,80 02,00<P<03,00 03,20<P<04,20 04,40<P<08,60 08,80<P<15,20	2 30<Rp<71 152<Rp<355 4<Rp<8 79<Rp<213 3<Rp<8 10<Rp<72	Pics à 4.80 m avec Rp = 34 bars et à 5,00m avec Rp=20 bars Refus à 15,40 m avec Rp = 6 bars et quelques pics Compris entre 3 et 6 bars
7	00,20<P<04,00 04,20<P<04,40 04,60<P<05,40 05,60<P<05,80 06,00<P<07,60 07,80<P<08,00	152<Rp<1423 38<Rp<81 1<Rp<10 24<Rp<44 88<Rp<284 3<Rp<4	Refus à 19,20m avec Rp = 54 bars

	08,20<P<12,80 13,00<P<14,40 14,60<P<16,20 16,40<P<19,00	7<Rp<71 3<Rp<9 8<Rp<24 30<Rp<122	
--	--	---	--

IV.3.4. Résultats des essais en laboratoire sur des échantillons paraffinés

IV.3.4.1. Essais physiques

Le tableau IV.4 donne les différents résultats obtenus des essais physiques en fonction des profondeurs.

Tableau IV.4 : Résultats des essais physiques

N°: Sondage	Profondeur (m)	Teneur en eau W(%)	Densité sèche $\gamma_d(t/m^3)$	Densité humide $\gamma_h(t/m^3)$	Degré de saturation Sr(%)	commentaires
S1	4,30 – 4,70	25,30	1,60	2,01	99,99	Sol moyennement dense, saturé
	5,50 – 5,80	10,04	1,86	2,05	60,33	Sol dense non saturé
	6,60 – 7,00	5,12	2,01	2,12	40,80	Sol dense non saturé
	9,50 – 10,00	19,17	1,77	2,12	99,97	Sol dense saturé
S2	7,30 – 7,50	19,59	1,70	2,04	90,76	Sol dense non saturé
	10,50 – 11,00	19,31	1,74	2,08	95,01	Sol dense non saturé
S3	8,20 – 8,60	23,46	1,63	2,02	97,40	Sol moyennement dense, non saturé
	9,00 – 9,30	23,59	1,63	2,02	97,70	Sol moyennement dense, non saturé
	10,50 – 11,00	17,43	1,78	2,10	92,31	Sol dense non saturé
	12,50 – 12,80	21,26	1,71	2,08	100	Sol dense saturé
S4	3,70 – 4,00	23,12	1,63	2,01	95,47	Sol moyennement dense, non saturé
	4,20 – 4,60	12,41	1,88	2,12	77,63	Sol dense non saturé
	5,30 – 5,70	19,49	1,69	2,03	89,30	Sol moyennement dense, non saturé
	7,00-7,40	19,67	1,72	2,06	93,42	Sol dense non saturé

IV.3.4.2. Essais d'identification

Les courbes granulométriques ont montré que le diamètre maximum D_{max} des grains est inférieur à 10mm au niveau de l'échantillon situé entre 9,10m et 9,50m (S1) et D_{max} des grains est inférieur à 2mm au niveau des autres échantillons avec un pourcentage de passants à 2mm variant de 80 à 100% et celui à 80μ varie de 62 à 98% ce qui correspond à un sol fin.

Le tableau IV.5 donne les limites d'Atterberg en fonction des profondeurs pour les différents sondages carottés.

Tableau IV.5 : Résultats des limites d'Atterberg

N°: Sondage	Profondeur (m)	Limite de liquidité Wl(%)	Limite de plasticité Wp(%)	Indice de plasticité Ip(%)	Classification selon l'abaque de Casagrande
S1	4,30 – 4,70	42,96	21,34	21,62	sol peu plastique
	5,50 – 5,80	34,76	18,52	16,24	sol peu plastique
	6,60 – 7,00	30,69	16,38	14,31	sol peu plastique
	9,50 – 10,00	36,66	16,96	19,70	sol peu plastique
S2	10,50 – 11,00	39,78	16,70	23,08	sol peu plastique
S3	8,20 – 8,60	50,01	23,34	26,67	sol plastique
	9,00 – 9,30	56,45	26,10	30,35	sol très plastique
	10,50 – 11,00	25,94	10,45	15,49	sol peu plastique
	12,50 – 12,80	42,08	22,29	19,79	sol peu plastique
S4	3,70 – 4,00	54,89	27,25	27,64	sol très plastique
	4,20 – 4,60	43,47	23,42	20,05	sol peu plastique
	5,30 – 5,70	43,75	19,74	24,01	sol peu plastique
	7,00-7,40	53,13	24,81	28,32	sol très plastique

IV.3.4.3. Essais mécaniques

Essai de cisaillement rectiligne

Les caractéristiques mécaniques du sol par l'essai de cisaillement à la boîte de Casagrande, (S4) à une profondeur entre 3,70–4,00m sont : $c = 2,03\text{bars}$ $\varphi = 12^\circ 65'$.

Essais triaxiaux

Le tableau IV.6 donne les valeurs des caractéristiques du sol obtenues par l'essai de cisaillement triaxial.

Tableau IV.6 : Résultats des essais triaxiaux

N° : Sondage	S1	S1	S3	S4
Profondeur(m)	4,30 – 4,70	6,60 – 7,00	10,50 – 11,00	5,30 – 5,70
Type d'essai	UU	UU	CU	CU
c (bars)	0,72	0,58	0,33	0,24
$\varphi(^{\circ})$	$6^{\circ}25'$	$7^{\circ}78'$	$19^{\circ}6'$	$20^{\circ}67'$

Note les valeurs de φ pour des essais UU doivent être nulles.

Essais œdométriques

Le tableau IV.7 donne les résultats des essais œdométriques en fonction des profondeurs pour les différents sondages carottés.

Tableau IV.7 : Résultats des Essais œdométriques

N° : Sondage	Profondeur	Pc (bars)	Cc (%)	Cg (%)	Pg (%)	σ_0' (bars)	Commentaire
S1	5,50 – 5,80	3,44	15,03	5,97	0,8	1,05	Sol sur-consolidé, moyennement compressible gonflant
	9,50 – 10,00	1,64	13,81	3,88	0,05	1,73	Sol sous-consolidé, moyennement compressible peu gonflant
S2	10,50 – 11,00	4,11	18,69	5,87	0,9	1,87	Sol sur-consolidé, moyennement compressible gonflant
S3	9,00 – 9,30	2,80	15,05	4,94	0,38	1,50	Sol sur-consolidé, moyennement compressible gonflant
	12,50 – 12,80	4,20	15,40	10,60	1,8	2,17	Sol sur-consolidé, moyennement compressible excessivement gonflant
S4	4,20 – 4,60	6,83	7,6	4,20	1,0	0,83	Sol sur-consolidé, peu compressible peu gonflant
	7,00 – 7,40	1,62	16,82	5,63	0,45	1,24	Sol sur-consolidé, moyennement compressible gonflant

Pc : pression de Pré-consolidation.

Pg : pression de gonflement.

Cc : coefficient de compressibilité.

σ_0' : contrainte effective.

Cg : coefficient de gonflement.

IV.3.5. Résultats des essais sur des échantillons remaniés des puits

Limites d'Atterberg

Le tableau IV.8 donne les limites d'Atterberg des échantillons remaniés obtenus des puits à la tarière.

Tableau IV.8 : Valeurs des limites d'Atterberg

Puits N°	Profondeur(m)	Limite de liquidité Wl(%)	Limite de plasticité Wp(%)	Indice de plasticité Ip(%)	Interprétation des résultats
P1	0,10 – 3,60	72,86	37,57	35,29	Sol très plastique
P2	0,50 – 3,10	70,83	35,32	35,51	
P3	0,20 – 3,20	63,90	36,86	27,04	

Indice CBR

Le tableau IV donne les indices CBR pour les différents puits en fonction des profondeurs.

Tableau IV.9 : Valeurs des indices CBR

Puits N°		P1	P2	P3	P4	
Profondeur(m)		0,10–3,60	0,50–3,10	0,20–3,20	0,10–4,40	
Classification des sols selon LCPC		Sols fins			Sol grenu	
Teneur en eau naturelle(%)		-	27,13	21,44	6,75	
Proctor modifié	γ_d opm(t/m ³)	1,78	1,81	1,71	1,87	
	ω_{opm}	15,50	16,30	18,00	9,00	
CBR imbibé à 4 jours	56 coups	γ_d (t/m ³)	1,80	1,80	1,69	1,90
		ICBR	3,52	2,29	4,46	38,05
		% gonflement	1,86	2,48	2,63	-
	25 coups	γ_d (t/m ³)	1,72	1,74	1,61	1,81
		ICBR	3,23	2,93	2,09	14,35
		% gonflement	2,07	5,72	2,70	-
	10 coups	γ_d (t/m ³)	1,69	1,60	1,56	1,72
		ICBR	0,77	1,19	1,64	7,28
		% gonflement	7,26	7,25	2,63	-
ICBR (à 95% de l'opm)		1,97	2,66	2,46	11,47	

IV.4. Commentaires des résultats

- L'analyse des résultats obtenus à partir des sondages carottés nous permet de constater que sous un remblai dont l'épaisseur varie de 0.50m à 6.30m nous retrouvons une couche de sable graveleux dont l'épaisseur varie de 2.00m à 4.80m. Cet ensemble repose sur une couche d'argile dont l'épaisseur varie de 5.00m à 11.30m avec présence au niveau des sondages 3 et 4 des lentilles de nature sablo argilo limoneuse d'une épaisseur de 2.00m au niveau du sondage 3 et un mélange de graves de 1.10m d'épaisseur au niveau du sondage 4.

- Les levés piézométriques effectués en juillet 2009 nous permettent de dire que le niveau de la nappe phréatique oscille entre 5,45m et 6,50m par rapport aux niveaux des terrains naturels actuels.
- L'analyse des pénétrogrammes montre que les valeurs de la résistance de pointe varient en fonction de la profondeur en dents de scie avec des valeurs inférieures à 20bars à une profondeur de : 12.00m (PS1)- 2.60m (PS2)- 6.40m (PS3)- 4.00m (PS4)- 3.00m (PS5)- entre 3.00m et 9.80m (PS6)- et entre 0.20m et 6.00m (PS7) le refus atteint à 11.80m voire 19.00m de profondeur.
- Suivant le Guide technique routier (GTR) établi par le LCPC et SETRA, Le sol étudié présente les caractères suivants :
 - Le caractère principal des sols des puits 1,2,3 est que ce sont des sols très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants et glissants à l'état humide d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier leurs perméabilité très réduite rend leurs variation de teneur en eau très lente en place. Une augmentation de la teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.
 - Le caractère principal du sol de puits 4 est que c'est un matériau graveleux généralement peu sensible à l'eau.

Chapitre V

Dimensionnement

V.1. Introduction

Le dimensionnement des structures de chaussées constitue une étape importante dans l'étude d'un projet aéroportuaire. Il s'agit de déterminer les épaisseurs des différentes couches de la structure de chaussée et de choisir les matériaux ayant les caractéristiques requises. Tout cela, en fonction des paramètres fondamentaux que sont l'environnement de l'aérodrome, le trafic et la durée de vie de la chaussée.

La chaussée se dégrade et se fatigue tout au long de sa durée de service jusqu'à atteindre un état faisant chuter considérablement le niveau de service et mettant en danger la sécurité des usagers. Les travaux d'entretiens ne sont alors plus suffisants et il est, pratiquement, nécessaire de construire une nouvelle chaussée sur l'ancienne.

Cette nouvelle chaussée sera appelée « renforcement » et comprendra, au moins, une couche de base et/ou une couche de roulement.

V.2. Types de chaussées

L'aérodrome d'Alger est constitué par les deux types de chaussées principales :

V.2.1. Chaussées souples

Une chaussée souple est en général constituée de bas en haut par trois couches différentes de matériaux de qualité croissante (non traités et traités aux liants hydrocarbonés) – couche de fondation, couche de base et couche de surface – les deux premières constituant l'assise de la chaussée.

Une couche de forme éventuelle (drainante ou anti-contaminante) peut être interposée entre le sol support et la couche de fondation, la mise en place de cette couche permet en outre d'améliorer les caractéristiques de la plate-forme support de la chaussée ainsi que sa praticabilité pendant la phase de chantier.

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.

❖ *Comportement d'une chaussée souple*

Toutes les chaussées aéronautiques de ce type ont été jusqu'à ici conçues en admettant, avec une approximation jugée suffisante, que la charge, appliquée par une roue d'atterrisseur à la surface d'une chaussée souple, descend dans le corps de celle-ci à l'intérieur d'une succession de surfaces réglées dont les génératrices forment avec la verticale un angle, caractéristique du matériau traversé, qui se resserre au passage de chaque couche à sa suivante.

La rupture de l'équilibre intervient lorsque, le sol support ne pouvant plus exercer une réaction égale à la charge appliquée, les couches supérieures lâchent à leur tour.

Il y aura alors poinçonnement du terrain d'assise, la figure ci-dessous montre que, pour une charge donnée, il y a relation entre la réaction limite, ou portance du sol support, et l'épaisseur du corps de chaussée.

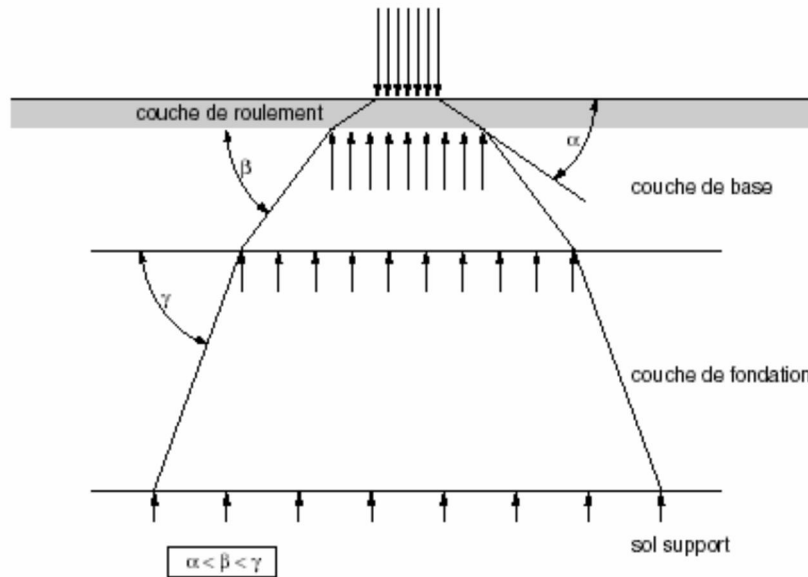


Figure V.1 : Comportement d'une chaussée souple

V.2.2. Chaussées rigides

Elles sont constituées d'une dalle en béton hydraulique correspondant à la couche de bas et la couche de surface à la fois, elle repose sur une ou plusieurs couches de fondations dont le rôle est d'assurer à la dalle de béton un support régulier et continu qui lui permettra de travailler dans les meilleures conditions.

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 1^{er} lieu dans la dalle par excès de contraintes.

❖ Comportement d'une chaussée rigide

Les chaussées rigides répartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement.

Le sol support est peu sollicité à cause de cette large répartition, de ce fait, la fatigue de la chaussée ne s'amorcera pas dans le sol support, mais dans la dalle lorsque celle-ci, perdant ses caractéristiques mécaniques par effet de fatigue, ne pourra plus résister à la déformation due au trafic.

V.3. Méthodes de dimensionnements

V.3.1. Dimensionnement forfaitaire

V.3.1.1. Principe

Le dimensionnement forfaitaire permet de 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 de mouvements journaliers n données.

La charge réelle pondérée P' est elle-même obtenue à partir de la charge P , qui est :

- Soit la charge maximale sur l'atterrisseur principal le plus contraignant ;
- Soit la charge désirée pour une catégorie d'atterrisseur.

V.3.1.2. Méthode de calcul

Données du trafic sur l'air considéré :

P : charge réelle
n : mouvements réel par jour pendant 10 ans

Pondération selon la fonction de l'aire :

P' : charge réelle pondérée
n : mouvements réels par jour pendant 10 ans

Conversion de la charge **P'** considérée à **n**
 Mouvements par jour pendant 10 ans en
 Une charge équivalente **P''** pour 10
 Mouvements par jour pendant 10 ans :

P'' : charge normale de calcul pour 10
 mouvements réels par jour pendant 10 ans

Utilisation des abaques ou formules de
 Dimensionnements pour l'atterrisseur
 Considéré :

Epaisseur

V.3.2. Dimensionnement optimisé

V.3.2.1. Principe

Alors que le dimensionnement forfaitaire ne prend en compte qu'un type d'avion, 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 considérés en mouvements équivalents de même charge de référence.

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

V.3.2.2. Méthode de calcul

Le calcul a pour but de déterminer l'épaisseur équivalente totale (chaussée souple) ou épaisseur réelle de la dalle de béton (chaussée rigide).

1. Le calcul est conduit pour chaque partie d'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 roues, dimensions, pression...).
 - Plusieurs charges réelles $P_{i,j}$ peuvent être considérés par modèle(i) avec leur nombre de mouvements réels $n_{i,j}$ et sont transformées en charges réelles pondérées $P'_{i,j}$ 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 les plus contraignants il convient de calculer l'épaisseur qui lui serait nécessaire en appliquant la méthode de dimensionnement forfaitaire.
 - La plus grande des épaisseurs ainsi obtenu, majorée de quelques centimètres, fournit en général une épaisseur initiale assez proche de la valeur définitive.
4. Pour chaque modèle d'avion (i), la charge admissible P_{oi} est déterminée à partir des abaques chaussée souple ou chaussée rigide correspondant à l'épaisseur choisie. Si il n'existe pas d'abaque pour l'avion considéré celui du modèle avion dont les caractéristiques s'en rapprochent le plus est utilisé.
5. Pour chaque modèle d'avion (i), les $n_{i,j}$ mouvements réels de chaque charge réelle pondérée $P'_{i,j}$ sont convertis en $n'_{i,j}$ mouvements équivalents à la charge admissible P_{oi} . Pour cela, pour chaque modèle d'avion (i) et chaque charge $P'_{i,j}$:
- Le rapport $R_{i,j} = P'_{i,j}/P_{oi}$ est calculé. Ce rapport ne doit pas dépasser 1,2 pour les aires de stationnements et 1,5 pour les autres aires, (il est toutefois recommandé de ne pas dépasser également 1,2 dans ce cas).
 - Le coefficient de pondération $CP_{i,j}$ des mouvements réels est calculé soit par la relation :

$$CP_{i,j} = 10^{5(R_{i,j} - 1)}$$

Le nombre de mouvement équivalents $n'_{i,j}$ est égale au nombre de mouvements réels $n_{i,j}$ multiplié par $CP_{i,j}$:

$$n'_{i,j} = n_{i,j} \times CP_{i,j}$$

6. Le nombre total des mouvements équivalents de tous les modèles d'avions est calculés en additionnent tous les mouvements équivalents $n'_{i,j}$. ce nombre est aussi appelé trafic équivalent.
7. 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.

Au contraire 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.

Des itérations sont ainsi effectuées jusqu'à trouver l'épaisseur telle que le trafic équivalent soit plus proche possible par défaut de 36500. La valeur ainsi déterminée est l'épaisseur recherchée.

V.3.2.3. Coefficients d'équivalences et de pondération

❖ Coefficient d'équivalence

Pour la détermination des épaisseurs équivalentes des chaussées existantes on doit tenir compte du coefficient d'équivalence et se référer à l'état actuel de la chaussée.

Les coefficients d'équivalences de chaque matériau sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau V.1 : Coefficients d'équivalence des matériaux

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux à module élevé	2,5
Enrobé à module élevé	1,9
Béton bitumineux neuf	2
Béton bitumineux peu fissuré	1,7
Grave bitume neuve	1,5
Grave bitume usée	1,2
Grave ciment neuve	1,5
Grave ciment usée	1,1
Grave concassée bien graduée	1
Sable bitume neuf	1
TVO neuf	0,75
TVO usé	0,6
Grave non traité usé	0,5

❖ Coefficients de pondération des infrastructures

Tableau V.2 : Coefficients de pondération des différentes aires

Fonction de l'aire concernée	Coefficient de pondération associé
Bretelle, piste (25 à 30m centraux), aire de stationnement (hors poste de stationnement)	1P
Poste de stationnement	1,2P
Accotements	0,5P
POR	0,7P

V.4. Renforcement de la piste principale et ses annexes

V.4.1. Piste principale

La piste principale et le taxiway 05/23 sont calculés par la méthode optimisée.

❖ Données

- La résistance de béton à la flexion égale à 5,83MPa.
- Dalle avec dispositif de transfert de charge $C_s=1,8$.
- Contrainte admissible de traction par flexion $\sigma_{bt} = \frac{5,83}{1,8} = 3,24 \text{ MPa}$.
- Module de réaction du terrain de fondation $K=75 \text{ MN/m}^3$.

- Le coefficient CBR du sol ICBR=4.

❖ Calcul

Pour le calcul de l'épaisseur de renforcement en béton bitumineux à appliquer sur la chaussée rigide existante il faut d'abord déterminer l'épaisseur d'une chaussée rigide simple répondant aux conditions de calcul par l'utilisation des abaques :

Tableau V.3 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion

Type avion	charge de l'avion	charge sur l'atterrisseur	Trafic en 2007	Trafic en 2013	Trafic Cumulé en 2023	Trafic Journalier (n)	Coef CT	charge de calcul	Epaisseur (cm)
B 747+B777	398	92,85	101	135	1697	0,46	1,27	73,11	28
B 707	152,5	70,91	94	126	1585	0,43	1,27	55,83	26
B 737/800	79,5	37,18	10633	14249	179252	49,11	0,86	43,23	32
B 757	109	50,8	109	146	1837	0,51	1,26	40,32	22
B 767	178	84,02	953	1277	16065	4,40	1,07	78,52	30
A320 (serie1)	77,5	36,08	4417	5919	74461	20,40	0,94	38,38	29,5
A330 (serie2)	234	111,74	2475	3317	41728	11,43	0,99	112,87	33
ATR 72	23	11,04	5090	6821	85808	23,50	0,93	11,87	18

L'épaisseur maximale est trouvée pour L'AIRBUS A330 (série 2) et égale 35cm. C'est la valeur pour laquelle on a un trafic inférieur à 36500 mouvements.

Tableau V.4 : Calcul de nombre de mouvements équivalents

Type avion	P ₀ (t)	P' (T) Réel	R= P'/p ₀	C _p =10 ^{5(R-1)}	MVTS Réels	MVTS Equivalents
B 747+B777	106	92,85	0,87	0,24	1661	398,19
B 707	89	70,91	0,80	0,1	1585	152,66
B 737/800	50	37,18	0,74	0,05	179252	9364,056
B 757	77	50,80	0,66	0,019	1837	36,54
B 767	91	84,02	0,92	0,41	16065	6642,99
A320 (serie1)	52	36,08	0,69	0,029	74461	2193,6109
A330 (serie2)	128	111,74	0,87	0,23	41728	9666,54
ATR 72	25	11,04	0,44	0,0016	85808	138,52
Total						28539,1323

Le trafic équivalent qui est égale à 28539,13 est inférieur à 36500, donc on retient l'épaisseur h = 35cm.

L'épaisseur du revêtement bitumineux est calculée par la formule :

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

h_t : épaisseur théorique d'une dalle neuve.

h : épaisseur de la dalle existante.

F : coefficient de réduction de l'épaisseur donné en fonction du module K.

❖ Section PK 0+000 au PK 2+430 (partie de la piste sur dalle précontrainte)

h = 18cm.

F = 0,84.

h_t = 35cm.

L'épaisseur équivalente de renforcement sur dalle directement est :

$$e = 3,75 \times (0,84 \times 35 - 18) = 42,75 \text{ cm}$$

❖ Section PK 2+430 au PK 3+500 (partie de la piste sur dalle de ciment)

$h = 37\text{cm}$.

$F = 0,84$.

$ht = 35\text{cm}$.

L'épaisseur équivalente de renforcement sur dalle directement est :

$$e = 3,75 \times (0,84 \times 35 - 37) = -28\text{cm}$$

Pour les accotements de la piste principale il n'y a pas une nécessité d'épaisseur équivalente supplémentaire mais la couche de surface présente des fissures nécessitent un renouvellement de cette couche.

V.4.2. Glams et Bretelles

Pour les bretelles attenantes aux parkings Glam1, Glam2, l'épaisseur équivalente de renforcement sera déterminée par la méthode forfaitaire pour un nombre de mouvement de $n=1$ mouvement/jour de l'avion de référence.

❖ Avion de référence

Pour 1 mouvement par jour $\implies CT = 1,2 - 0,2 \times \text{Log}(1) = 1,2$

Tableau V.6 : Détermination de l'avion de référence

	Masse maxi roulage (t)	Masse à vide (t)	Centrage (C) %	$P' = P \times C$	$P'' = P'/Ct$
A330-300	234	130	47,75	113,73	93,11
B747-400	398	180	23,33	92,85	77,37

D'après les résultats du tableau, l'avion de référence (critique) est l'A330-300. L'étude sera réalisée pour la masse à vide de l'avion de référence.

V.4.2.1. Glam 1

Le parking « ateliers de maintenance » est composé de deux chaussées distinctes l'une en rigide et l'autre en majeure partie en souple.

❖ Zone en structure souple

❖ Calcul de P''

- Masse à vide opérationnelle : 130 t
- Pourcentage de charge sur l'atterrisseur principal (C) : 47,75 %
- Charge réelle **P** (masse à vide \times centrage sur l'atterrisseur (C)) : 62,075 t
- Charge réelle pondérée **P'** ($P' = P \times$ coefficient de pondération (1,2)) : 74,49 t
- $CT = 1,2 - 0,2 \log n(1) : 1,2$
- $P'' = P'/CT \implies P'' = 62,075 \text{ t}$

❖ Calcul de l'épaisseur

D'après l'abaque « chaussée souple » de A330-300

$CBR = 4$ $P'' = 62,075$ épaisseur équivalente = 93cm.

Globalement, une épaisseur suffisante de matériaux traités est nécessaire pour assurer un bon comportement des couches supérieures de la chaussée déterminée en fonction de l'indice CBR et de l'épaisseur équivalente totale de la chaussée.

L'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités est 28cm.

❖ Zone en structure rigide

Etant donné que les dalles de bétons sont endommagées, la structure sera renforcé en souple sur sa totalité.

Nous adaptons ainsi pour ces deux zones un nouveau corps de chaussée en structure souple de 93cm d'épaisseur équivalente.

V.4.2.2. Bretelle C2-C4

La bretelle C2-C4 relie le taxiway au Glam1 et est constituée d'une structure souple (au niveau de la bretelle C4, extension de la C2 vers le parking fret).

❖ Calcul de P''

- Masse à vide opérationnelle : 130 t
- Pourcentage de charge sur l'atterrisseur principal : 47,75 %
- Charge réelle P : 62,075 t
- Charge réelle pondérée P' (P × C (1)) : 62,075 t
- CT = 1,2 – log n(1) : 1,2
- Charge de calcul P'' : 51,729 t

❖ Calcul de l'épaisseur

D'après l'abaque de chaussée souple de l'A330-300 et pour un CBR = 4, P'' = 51,729 l'épaisseur équivalente sera de 80 cm.

D'après l'abaque de chaussée rigide de l'A330-300, et $\sigma_{bt} = 3,24$ MPa

$K = 40 \text{ MPa/m}^3 \longrightarrow K_{\text{corrigé}} = 65 \text{ MN/m}^3 \longrightarrow$ épaisseur de dalle de 21 cm

❖ Calcul de l'épaisseur de renforcement :

Epaisseur équivalente sera calculée par la formule suivante :

F en fonction du $K_{\text{corrigé}} = 0,86$

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

$h_t = 21$ cm

$h = 20$ cm

$e = 3,75 (0,86 \times 21 - 20) = -7,27$ cm

V.4.2.3. Glam 2

Le Glam 2 est en grande partie constitué d'une structure rigide renforcée par une couche de béton bitumineux et d'une structure rigide sans renforcement.

❖ Calcul de P''

- Masse à vide opérationnelle : 130 t

- Pourcentage de charge sur l'atterrisseur principal : 47,75 %
- Charge réelle P : 62,075 t
- Charge réelle pondérée P' (coefficient = 1,2) : 74,49 t
- Coefficient du trafic (CT = 1,2 – 0,2 × log n(1)) : 1,2
- Charge de calcul P'' : 62.075 t

❖ Calcul de l'épaisseur d'une dalle neuve

Le glam 2 est répartie en 3 zones. D'après l'abaque de chaussée rigide de l'A330-300.

Pour un $\sigma_{bt} = 3,24$ MPa.

Zone 1 : $K = 40 \text{ MN/m}^3 \longrightarrow$ sur 20 cm de GNT $\longrightarrow K_{\text{corrigé}} = 55 \text{ MN/m}^3$

$P'' = 62,075 \text{ t} \implies$ une épaisseur de dalle = 24,5cm

Zone 2 : $K = 40 \text{ MN/m}^3 \longrightarrow$ sur 15 cm de GNT $\longrightarrow K_{\text{corrigé}} = 45 \text{ MN/m}^3$

$P'' = 62.075 \text{ t} \implies$ une épaisseur de dalle de 25cm

Zone 3 : $K = 40 \text{ MN/m}^3 \longrightarrow$ sur 85 cm de GNT $\longrightarrow K_{\text{corrigé}} = 100 \text{ MN/m}^3$

$P'' = 62,075 \text{ t} \implies$ une épaisseur de dalle = 22cm

❖ Calcul de l'épaisseur de renforcement

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

- **Zone** : $e = 3,75(0,9 \times 24,5 - 30) = -29,8\text{cm}$
- **Zone** : $e = 3,75(0,9 \times 25 - 30) = -28\text{cm}$
- **Zone** : $e = 3,75(0,75 \times 22 - 30) = -50\text{cm}$

V.4.2.4. Bretelle E3

La bretelle E3 relie le taxiway au Glam2, son corps de chaussée est en structure rigide renforcée par un revêtement en béton bitumineux.

❖ Calcul de P''

- Masse à vide opérationnelle : 130 t
- Pourcentage sur l'atterrisseur principale : 47,75%
- Charge réelle P : 62,075 t
- Charge réelle pondérée P' (coefficient = 1) : 62,075 t
- Coefficient du trafic Ct = 1,2 – log n : 1,2
- Charge de calcul P'' = 62,075 t

❖ Calcul de l'épaisseur d'une dalle neuve

D'après l'abaque de chaussée rigide de l'A330-300

Pour $\sigma_{bt} = 3,24$ MPa.

$K = 40 \text{ MN/m}^3 \longrightarrow$ sur 20 cm de GNT $\longrightarrow K_{\text{corrigé}} = 55 \text{ MN/m}^3$

$P'' = 62,075 \text{ t}$ —→ Une épaisseur de dalle de 25cm

❖ Calcul de l'épaisseur de renforcement

Épaisseur équivalente de renforcement :

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

- F en fonction du $K_{\text{corrigé}}$, $F = 0,87$.
- $h_t = 25 \text{ cm}$
- $h = 30 \text{ cm}$

L'épaisseur de renforcement sur dalle directement :

$$e = 3,75 (0,87 \times 40 - 30) = -30,9 \text{ cm}$$

V.4.2.4. Bretelle D3

La bretelle D3 relie le taxiway au glam 2 et est composé d'une structure souple.

❖ Calcul de P''

- Masse à vide opérationnelle : 130 t
- Pourcentage de charge sur l'atterrisseur principal (C) : 47,75 %
- Charge réelle P (masse à vide \times centrage sur l'atterrisseur (C)) : 62,075 t
- Charge réelle pondérée P' ($P' = P \times$ coefficient de pondération (1)) : 62,075 t
- $CT = 1,2 - 0,2 \log n(1) : 1,2$
- $P'' = P'/CT \longrightarrow P'' = 51,729 \text{ t}$

❖ Calcul de l'épaisseur

D'après l'abaque « chaussée souple » de A330-300

$CBR = 4$ $P'' = 51,729$ épaisseur équivalente = 82cm.

L'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités est 24cm.

V.5. Renforcement de la piste secondaire et ses annexes

❖ Données

- La résistance de Béton à la flexion égale à 5,83MPa.
- Dalle avec dispositif de transfert de charge $C_s = 1,8$.
- Contrainte admissible de traction par flexion $\sigma_{bt} = \frac{5,83}{1,8} = 3,24 \text{ MPa}$.
- Module de réaction du terrain de fondation $K = 40 \text{ Mn/m}^3 \longrightarrow K_{\text{corrigé}} = 70 \text{ Mn/m}^3$.
- Le coefficient CBR du sol $ICBR = 4$.

V.5.1. Piste secondaire

La piste secondaire et le taxiway 09/27 sont calculés par la méthode optimisée.

❖ Section PK 0+000 au PK 0+550 (partie rigide)

Les seules dégradations relevées au niveau de cette section, en structure rigide, sont des dépôts de gommages de faible densité et de niveau léger ainsi qu'un nombre réduit de dalles affectées par les défauts de joints. Donc cette section n'est pas concernée par le renforcement.

❖ **Section PK 0+550 au PK 1+150 (partie souple)**

Le calcul se fait par itération la première valeur de l'épaisseur à essayer est déterminée par la méthode forfaitaire

Tableau V.7 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion

Type avion	charge de l'avion	charge sur l'atterrisseur	Trafic en 2007	Trafic en 2015	Trafic Cumulé en 2025	Trafic journalier	Coef CT	charge de calcul	Epaisseur (cm)
B 747+B777	398	92,85	110	163	2051	0,56	1,25	74,28	126
B 707	152,5	70,91	102	151	1900	0,52	1,26	56,43	120
B 737/800	79,5	37,18	11519	17048	214464	58,76	0,85	43,94	126
B 757	109	50,8	118	175	2202	0,60	1,24	40,84	88
B 767	178	84,02	1032	1527	19210	5,26	1,06	79,58	128
A320 (serie1)	77,5	36,08	4785	7082	89092	24,41	0,92	39,11	114
A330 (serie2)	234	111,74	2681	3968	49917	13,68	0,97	114,86	154
ATR 72	23	11,04	5514	8161	102665	28,13	0,91	12,13	65

L'épaisseur maximale est trouvée pour L'ARBUS A330 (série 2) égal 154cm.

Après un calcul itératif pour différentes valeurs d'épaisseur, On trouve qu'une épaisseur équivalente totale de 155cm donne de bons résultats, ces derniers sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau V.8 : Calcul de nombre de mouvements équivalents

Type avion	P ₀ (t)	P' (T) Réel	R= P'/p ₀	C _p =10 ^{5(R-1)}	MVTS Réels	MVTS Equivalents
B 747+B777	99	92,85	0,94	0,49	2051	1003,14
B 707	93	70,91	0,76	0,061	1900	123,34
B 737/800	61	37,18	0,61	0,011	214464	2392,74
B 757	87	50,80	0,58	0,008	2202	18,30
B 767	100	84,02	0,84	0,16	19210	3051,60
A320 (serie1)	64	36,08	0,56	0,0066	89092	586,93
A330 (serie2)	118	111,74	0,94	0,54	49917	27101,56
ATR 72	64	11,04	0,17	0,00007	102665	7,48
Total						34285,08

Le trafic équivalent qui est égale à 34285,08, très proche de 36500, donc on retient l'épaisseur h = 155cm.

L'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités est 46cm.

❖ Section PK 1+150 au PK 3+500 (partie semi-rigide)

Tableau V.9 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion

Type avion	charge de l'avion	charge sur l'atterrisseur	Trafic en 2007	Trafic en 2015	Trafic Cumulé en 2025	Trafic journalier	Coef CT	charge de calcul	Epaisseur (cm)
B 747+B777	398	92,85	110	163	2051	0,56	1,25	74,28	27,5
B 707	152,5	70,91	102	151	1900	0,52	1,26	56,43	26
B 737/800	79,5	37,18	11519	17048	214464	58,76	0,85	43,94	32
B 757	109	50,8	118	175	2202	0,60	1,24	40,84	22
B 767	178	84,02	1032	1527	19210	5,26	1,06	79,58	30,5
A320 (serie1)	77,5	36,08	4785	7082	89092	24,41	0,92	39,11	30
A330 (serie2)	234	111,74	2681	3968	49917	13,68	0,97	114,86	33
ATR 72	23	11,04	5514	8161	102665	28,13	0,91	12,13	17

L'épaisseur maximale est trouvée pour L'ARBUS A330 (série 2) égal 33cm.

Après un calcul itératif pour différentes valeurs d'épaisseur, On trouve qu'une épaisseur équivalente totale de 35cm donne de bons résultats, ces derniers sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau V.10 : Calcul de nombre de mouvements équivalents

Type avion	P ₀ (t)	P' (T) Réel	R= P'/p ₀	C _p =10 ^{5(R-1)}	MVTS Réels	MVTS Equivalents
B 747+B777	106	92,85	0,87	0,24	2051	491,68
B 707	89	70,91	0,79	0,09	1900	252,02
B 737/800	50	37,18	0,74	0,05	214464	6900,83
B 757	77	50,80	0,66	0,019	2202	39,74
B 767	91	84,02	0,94	0,41	19210	10086,77
A320 (serie1)	52	36,08	0,69	0,029	89092	1697,61
A330 (serie2)	128	111,74	0,87	0,23	49917	15991,66
ATR 72	25	11,04	0,44	0,0016	102665	165,74
Total						34219,44

Le trafic équivalent qui est égale à 34219,44 très proche de 36500, donc on retient l'épaisseur h = 35cm.

L'épaisseur du revêtement bitumineux est calculée par la formule :

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

F en fonction du K_{corrigé}, F= 0,84.

h_t = 35cm

h = 16cm

L'épaisseur de renforcement sur dalle directement :

$$e = 3,75 (0,84 \times 35 - 16) = 50,25\text{cm}$$

V.5.2. Accotements

Généralement les accotements dimensionnés par la méthode forfaitaire avec la moitié de la charge de l'avion de référence.

❖ Calcul de P''

- Masse de l'avion : 234 t

- Pourcentage de charge sur l'atterrisseur principal : 47,75 %
- Charge réelle P : 111,73t
- Charge réelle pondérée P' (P × C (0,5)) : 55,87t
- CT = 1,2 – log n(1) : 1,2
- Charge de calcul P'' : 46,56t

❖ Calcul de l'épaisseur

D'après l'abaque de chaussée souple de l'A330-300 et pour un CBR = 4, P'' = 51,729 l'épaisseur équivalente sera de 75cm.

L'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités est 23cm.

V.5.3. Bretelles de L'X et parking national

L'épaisseur du revêtement bitumineux est calculée par la formule :

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

F en fonction du $K_{\text{corrigé}}$, F= 0,84.

$$h_t = 35\text{cm}$$

$$h = 30\text{cm}$$

L'épaisseur de renforcement sur dalle directement :

$$e = 3,75 (0,84 \times 35 - 30) = -2,25\text{cm}$$

V.6. Etude de l'extension du taxiway 09/27

L'épaisseur équivalente de cette partie neuve est calculée par la méthode optimisée pour un trafic estimé à partir du trafic de l'année 2007 avec une progression annuelle de 5%.

La mise en service est en 2012. Pour une durée de vie de 10 ans.

Tableau V.11 : Calcul de l'épaisseur équivalente nécessaire pour chaque type d'avion

Type avion	charge de l'avion	charge sur l'atterrisseur	Trafic en 2007	Trafic en 2012	Trafic Cumulé en 2022	Trafic journalier	Coef CT	charge de calcul	Epaisseur (cm)
B 747+B777	398	92,85	110	141	1774	0,49	1,26	73,53	126
B 707	152,5	70,91	102	131	1648	0,45	1,27	55,87	107
B 737/800	79,5	37,18	11519	14744	185480	50,81	0,86	43,29	123
B 757	109	50,8	118	151	1900	0,52	1,26	40,42	86
B 767	178	84,02	1032	1321	16618	4,55	1,07	78,64	126
A320 (serie1)	77,5	36,08	4785	6125	77053	21,11	0,93	38,58	115
A330 (serie2)	234	111,74	2681	3432	43175	11,83	0,98	113,39	153
ATR 72	23	11,04	5514	7058	88790	24,32	0,92	11,96	64

L'épaisseur maximale est trouvée pour L'ARBUS A330 (série 2) égal 153cm.

Après un calcul itératif pour différentes valeurs d'épaisseur, On trouve qu'une épaisseur équivalente totale de 154cm donne de bons résultats, ces derniers sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau V.12 : Calcul de nombre de mouvements équivalents

Type avion	P ₀ (t)	P' (T) Réel	R= P'/p ₀	C _p =10 ^{5(R-1)}	MVTS Réels	MVTS Equivalents
B 747+B777	98	92,85	0,95	0,55	1774	968,72
B 707	92	70,91	0,77	0,07	1648	117,70
B 737/800	61	37,18	0,61	0,01	185480	2069,37
B 757	86	50,80	0,59	0,01	1900	17,07
B 767	100	84,02	0,84	0,16	16618	2639,85
A320 (serie1)	63	36,08	0,57	0,007	77053	562,71
A330 (serie2)	116	111,74	0,96	0,66	43175	28288,61
ATR 72	63	11,04	0,18	0.00007	88790	6,68
Total						34670,70

Le trafic équivalent qui est égale à 34670,70 est très proche de 36500, donc on retient l'épaisseur $h = 154\text{cm}$.

L'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités est 64cm.

V.7. Conclusion

Au vue des résultats obtenus, nous avons déduis que plusieurs parties ne nécessitent pas un renforcement en terme d'épaisseur équivalente. Toute fois il est nécessaire de faire un fraisage de la couche de roulement et la mise en œuvre d'une nouvelle couche.

Les parties semi-rigides qui reposent sur les dalles de précontrainte et des parties souples nécessitent vraiment un renforcement.

Chapitre VI

Proposition de variantes

1^{er} partie : recherche sur les nouveaux matériaux

VI.1. Introduction

Le vieillissement des chaussées provoqué par un trafic intense et de fortes variations de températures nécessite régulièrement l'entretien des couches de roulements. Après quelques années, ce vieillissement se traduit par l'apparition de plusieurs désordres dont les fissures sont inévitables.

La curiosité et le désir profond ont poussé les experts concernés de mener des recherches afin de trouver des solutions plus efficaces aux problèmes survenant d'une manière traditionnelles sur les structures de chaussées en particulier les fissures qui affectent les structures souples. De nos jours les solutions adoptées à ces désordres consistent en superposition de plusieurs couches bitumineuses, avec des coûts très onéreux et, parfois elles s'avèrent inefficaces, c'est la raison pour laquelle des nouvelles solutions de renforcement et de construction des chaussées neuves avec des nouvelles technologies sont nécessaires.

VI.2. Les techniques d'entretien pour limiter les conséquences de la remontée des fissures

VI.2.1. Définition

La transmission des fissures de l'assise dans les couches de surface est la conséquence des contraintes engendrées par les sollicitations, mais aussi et essentiellement la conséquence des contraintes thermiques (cycles saisonniers et journaliers). Pour éviter totalement ces dernières il suffirait de supprimer le collage des enrobés sur l'assise : ainsi la fissure de l'assise provoquée par le retrait de prise ne pourrait pas s'amorcer à la base de la couche de surface. Mais cela conduirait à un fonctionnement tellement défavorable qu'aucune couche de roulement ne résisterait longtemps dans de telles conditions.

Les techniques d'interposition consistent à mettre en œuvre entre l'assise et les couches de surface une couche de diffusion des contraintes qui a un triple but :

- Sur le plan de la transmission des contraintes, en tête de la fissure, provenant des cycles thermiques lents, elle dissocie les deux couches.
- Elle permet à la structure de supporter les sollicitations des charges en assurant un bon collage de l'enrobé à son support.
- Elle doit conserver l'imperméabilité de la structure même si la fissure se développe dans la couche de surface.

VI.2.2. Caractéristiques des interfaces antifissures

Le matériau utilisé pour constituer une membrane antifissure doit donc :

- Etre suffisamment déformable sous les sollicitations lentes des cycles thermiques de manière à permettre la dissipation des contraintes apparaissant en tête des fissures du support.
- Conserver une rigidité suffisante pour les sollicitations rapides dues aux charges.

- Il ne doit pas présenter une forte compressibilité verticale pour ne pas augmenter exagérément les contraintes de flexion dans la couche de roulement ni être le siège de déformations permanentes ou fluage entraînant des déformations en surface.
- Il doit adhérer avec deux faces pour assurer le collage de la couche de roulement sur son support et doit aussi conserver son imperméabilité même au dessus ou en dessous d'une fissure ouverte.

Deux techniques sont proposées dans notre projet et qui sont définies ci-après, les géogrilles et les sable bitumes.

VI.3. Géosynthétique

Un Géosynthétique est le terme générique désignant un produit dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de nappe, de bande, ou de structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique ou du génie civil.

VI.3.1. Géotextile

VI.3.1.1. Définition

Les géotextiles sont de nappes de fibre synthétiques utilisées dans les travaux publics pour servir de surface de séparation, de filtre, de drain et d'armature. Il en résulte que le choix d'un géotextile doit nécessairement faire intervenir un nombre minimal de facteurs.

VI.3.1.2. Constituants

Les géotextiles sont constitués de fibres synthétiques obtenues par filage puis étirage de polymères fondus, le plus souvent du polypropylène ou du polyester. Le diamètre de ces fibres est d'environ 10 à 30 micromètres.

Certains géotextiles sont cependant constitués de bandelettes obtenues non pas par filage mais par découpage de fils puis étirage. Ces bandelettes sont alors en polypropylène et possèdent quelques millimètres de largeur.

VI.3.1.3. Les principaux types de géotextile

Il y a essentiellement deux familles de géotextiles :

❖ Les géotextiles tissés

Ils sont obtenus par l'entrecroisement de deux nappes perpendiculaires de fils ou de bandelettes.



Figure VI.1 : Géotextile tissé

❖ Les géotextiles non tissés

Ils sont constitués de fibres disposées de façon désordonnées et liées par différents procédés.

On distingue principalement :

- Les géotextiles non-tissés aiguilletés : L'aiguilletage est un procédé purement mécanique dans lequel des aiguilles hérissées d'ergots traversent la nappe dans un mouvement alternatif rapide.
- Les géotextiles non tissés thermo liés : L'assemblage consiste à comprimer à chaud la nappe de fibres. Il en résulte une soudure superficielle de ces fibres.

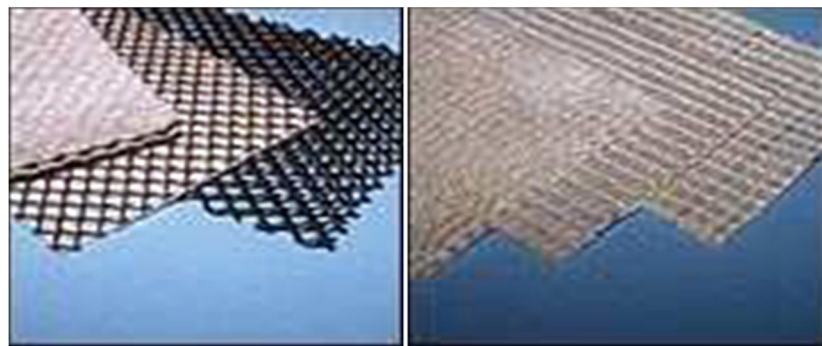


Figure VI.2 : Géotextile non tissé

❖ Les autres géotextiles

On distingue encore les filets, les tricots et tous les géotextiles composites, constitués par l'association de plusieurs produits de façon à combiner leurs propriétés.

VI.3.1.4. Fonctions des géotextiles

Le géotextile présente une surface continue qui permet de séparer deux sols ou deux couches différentes, il permet de répartir des efforts concentrés, il réagit aux efforts répartis de traction et constitue un renforcement dans un massif. Aussi, il joue un rôle anticontaminant, en bloquant les particules solides, car il constitue un drain.

On constate que le géotextile remplit simultanément plusieurs fonctions, qui sont :

- Drainage.
- Filtration.
- Séparation.
- Renforcement.
- Etanchéité.
- Protection

Ces fonctions sont complémentaires, mais généralement une seule est considérée comme la fonction majeure.

VI.3.2. Géogrille

VI.3.2.1. Définition

La géogrille est une structure polymérique formée d'un réseau régulier de nervures longitudinales (chaîne) et transversales (trame), dont le pourcentage d'aire ouverte est supérieur à 40 %, et dont les ouvertures, qui font 15 mm ou plus dans leur plus petite dimension, permettent l'intrusion des particules de sol ou de matériaux granulaires avoisinants.

Les géogrilles faisant l'objet de cette étude sont dites biaxiales, par conséquent, les spécifications s'appliquent aux directions longitudinale et transversale.

VI.3.2.2. Fonctions d'une géogrille

La fatigue due au trafic, les retraits thermiques et hydrauliques sont les principales causes de la fissuration d'une chaussée. Un géogrille imprégné de bitume incorporé à la structure ralentit la remontée des fissures et permet de rallonger la durée de vie de la chaussée.

Les géogrilles remplissent alors une fonction de renforcement et limitent les déformations dans les couches asphaltiques de recouvrement à proximité des fissures du support. Par conséquent, la remontée des fissures est ralentie. L'effet du renforcement obtenu est fonction du matériau de base utilisé et de la quantité de matériau contenue dans la grille. Cette quantité est liée à l'ouverture des mailles et aux dimensions des faisceaux de filles sans oublier la part des produits d'imprégnation.

VI.4. Sables bitumes

VI.4.1. Définitions

Ce procédé consiste à réaliser la couche de roulement d'entretien (ou les couches de surface en chaussée neuve) sur une première couche de 1,5 à 2 cm d'épaisseur en enrobé fin riche en liant.

VI.4.2. Formulations

L'enrobé utilisé est au mieux un 0/4 élaboré à partir d'un granulats entièrement concassé avec une formulation comptant de l'ordre de 10 % de bitume; 12 à 15 % d'éléments inférieurs à 80 microns dont le module de richesse visé entre 5,5 et 6. Et 10 à 15% de sable roulé.

L'emploi d'un bitume modifié pour l'enrobé fin est nécessaire. L'objectif est d'obtenir un liant ayant une faible susceptibilité thermique et pour le mélange un maximum d'allongement à la rupture. L'emploi de liant modifié est nécessaire pour donner à la « couche antifissure » la souplesse souhaitée sous toutes conditions climatiques et surtout d'éviter l'orniérage ou des déformations permanentes qui seraient inévitables sous fortes sollicitations avec du bitume pur.

La conception d'un tel complexe conduit à rechercher un compromis entre l'efficacité vis-à-vis de la remontée des fissures qui tend à préconiser l'utilisation d'un bitume mou et la lutte

contre les déformations permanentes sous charges lourdes qui impose l'emploi d'un liant dur ou modifié. Pour cette raison les études de formulation doivent être complètes et réalisées sur l'ensemble du complexe sable enrobé + couche de roulement pour ce qui concerne le comportement sous les charges (voies de circulation et aires de stationnement).

VI.4.3. Précautions d'usage

Ce système souvent présenté sous l'appellation « enrobé bicouche » est parmi les plus efficaces mais sous certaines conditions. Il nécessite en particulier:

- Un support ayant un bon uni longitudinal et surtout un bon profil en travers pour respecter l'épaisseur (1,5 à 2 cm). Il est nécessaire de reprofiler le support si les déformations de profil sont supérieures à 1 cm.
- De ne pas réduire l'épaisseur de la couche de roulement. Une épaisseur de 6 cm de béton bitumineux est conseillée. Sous fortes sollicitations, on a également intérêt, sans réduire l'épaisseur, à utiliser un bitume modifié pour la couche de surface.
- Les joints dégarnis doivent être remplis, les fissures de retraites doivent être, si nécessaire, scellées par pontage de faible épaisseur.
- La couche de sable bitume doit être surmontée systématiquement d'au moins une couche de béton bitumineux (roulement, voir liaison+roulement).

La mise en œuvre de ce produit se fait au finisseur vis calées pour respecter l'épaisseur sur une couche d'accrochage classique et avec un compactage en général réalisé par un compacteur tandem à jantes lisses; seuls les joints sont vibrés.

VI.5. Enrobés à module élevé

VI.5.1. Définitions des EME et des BBME

Les enrobés à module élevé sont des enrobés hydrocarbonés de rigidité supérieure à celle des graves-bitume, destinés à la réalisation des couches d'assise, dans le cadre de travaux de construction ou de renforcement des chaussées. Ils sont préparés à partir d'un mélange de liant hydrocarboné, de granulats et d'additifs éventuels. Ces mélanges présentent, en plus du module élevé, une plus grande résistance à la fatigue que celle des mélanges conventionnels.

Les bétons bitumineux à module élevé sont des enrobés hydrocarbonés destinés à la réalisation des couches de roulement et des couches de liaison, dans le cadre des travaux de construction, de renforcement ou d'entretien des chaussées. Ils se caractérisent par un module de rigidité E plus élevé que les bétons bitumineux classiques et par une bonne tenue à l'orniérage.

VI.5.2. Formulation des EME

Par rapport aux formulations des GB, celles des EME sont plus voisines de celles des enrobé pour couche surface (BBSG) ou des GB de classe 4: courbe, généralement continue, comportant 30 à 35 % de sable et 7% de fines. Les dimensions maximales sont : 10, 14 et 20 mm, mais ce sont les 0/14 semi-grenu(BBME) et 0/20 (EME) qui sont les plus fréquemment utilisés.

Les caractéristiques mécaniques et de fabrication, concernant l'angularité, la dureté, et la propreté des gravillons et des sables, sont conformes à celles des GB, la norme permet d'utiliser des agrégats d'enrobés (matériaux bitumineux à recycler) selon le contexte du chantier avec un maximum de 40 %. La teneur en fines est de 7 à 9 %.

Le liant utilisé est le plus souvent un bitume pur prêt à l'emploi, beaucoup plus rarement un bitume modifié ou un bitume spécial. Il convient d'utiliser le plus souvent des bitumes 10/20, 15/25 ou 20/30 c'est à dire dont la pénétrabilité à 25° C se place dans l'intervalle 10-30 (1/10 mm) et dont la température Bille-Anneau soit proche ou supérieure de 65° C.

Un bitume de grade traditionnel (35/50) peut être utilisé avec des additifs de nature organique sous forme de fines ou de granulés, pour durcir le liant et augmenter la rigidité de l'enrobé. Ce moyen est employé dans les zones géographiques où les classes de bitume dur ne sont pas disponibles. Ceci pourrait être une solution pour réaliser des EME dans les pays du Maghreb.

VI.5.3. Performances des enrobés à module élevé

Une bonne tenue en fatigue est assurée par une teneur en vide faible et par un film épais de liant autour des granulats, caractérisé par le module de richesse.

Le tableau suivant représente les caractéristiques et les performances des EME et BBME :

Tableau VI.1 : Performances des EME et BBME

Produits	BBME classe1	BBME classe2	BBME classe3	EME classe1	EME classe2
Module de richesse (k)	3,5	(BBME 0/10)		2,5	3,4
	3,3	(BBME 0/14)			
Pourcentage des vides(PCG) (NFP 98-252)	5 ≤ V ≤ 10 (BBME 0/10) à 60gir			≤ 10	≤ 6
	4 ≤ V ≤ 9 (BBME 0/14) à 80gir				
Essai Duriez à 18°C (NFP 98-253-1)	≥ 0,80	≥ 0,80	≥ 0,80	≥ 0,70	≥ 0,75
Essai d'orniérage (NFP 98-260-2)	≤ 10 %	≤ 7,5 %	≤ 5 %	≤ 7,5 %	≤ 7,5 %
Essai de module complexe (NFP 98-261-1)	≥ 9 000	≥ 12 000	≥ 12 000	≥ 14 000	≥ 14 000
Essai de traction directe (NF P 98-260-1)	≥ 9 000	≥ 12 000	≥ 12 000	≥ 14 000	≥ 14 000
Essai de fatigue	≥ 110	≥ 110	≥ 110	≥ 100	≥ 130

VI.5.4. Coefficient d'équivalence des EME et BBME

Sous réserve que les produits mis en œuvre correspondent aux spécifications des normes

françaises, il est possible d'utiliser dans le calcul les coefficients d'équivalence ci-dessous pour l'ensemble des matériaux à module élevé.

- 2,5 pour les BBME (classe1 NF P- 98.141) couche de roulement.
- 1,9 pour les EME (classe2 NF P 98.140) couche de base.

VI.5.5. Mise en œuvre

La mise en œuvre des EME est effectuée de manière à éviter leur ségrégation et à respecter strictement les caractéristiques de géométrie, d'uni, de pourcentage des vides et d'adhérence. Le répandage des enrobés ne se fait que lorsque l'état de surface de la chaussée et les conditions météorologiques sont compatibles avec une bonne exécution des travaux.

L'application des EME est précédée d'une couche d'accrochage ou de tout dispositif assurant la liaison des couches. La couche d'accrochage doit comporter au moins 250 g de bitume résiduel par mètre carré, elle est répandue de façon continue à l'aide d'un dispositif mécanique de répandage. Pour les EME au bitume pur, la température à l'application doit être supérieure à 140 °C derrière le finisseur.

Pour les autres types de liant, ou dans le cas d'additif incorporé lors de la fabrication, les températures de répandage sont à indiquer par le fournisseur.

VI.5.6. Avantages des EME

- Une bonne résistance à l'orniérage (BBME).
- Une bonne résistance à la fatigue (EME).
- Réduction des épaisseurs des chaussées.
- Augmentation de la durée de vie des chaussées.
- Economie jusqu'à 40% de matériaux et réduction de consommation et des coûts en énergie de transport, de fabrication et de mise en œuvre.
- Diminution de nombre d'interventions pour les entretiens durant la durée de vie.

VI.5.7. Inconvénients des EME

- Sensible aux effets thermiques (fissuration de retrait si le liant est trop dur).
- Texture très fermée, nécessite une couche de roulement adaptée (BBTM, BBME)
- Nécessité d'un support de bonne portance.
- Respect impératif des épaisseurs.
- Nécessité d'ouvriers de haute formation pour la mise en œuvre.

2^{ème} partie : Proposition des variantes

Nous proposons trois variantes dont la première est une variante classique, la deuxième et la troisième sont des variantes inspirées dans les nouvelles technologies en utilisant les enrobés à module élevé, les Géosynthétiques et les sables bitume.

Les variantes proposées sont appliquées à la piste principale puis comparées entre elles. Et la variante retenue sera appliquée aux autres aires et voies de circulations.

VI.1. Présentation des Variantes pour Piste principale (05/23)

VI.1.1. Variante 1 (classique)

❖ Partie sur dalle précontrainte ($e_{eq} = 42,75\text{cm}$)

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de Béton bitumineux 0/14 d'une épaisseur de 9cm.

❖ Partie sur dalle de ciment

- Fraisage de la couche roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de Béton bitumineux 0/14 d'une épaisseur de 9cm.

VI.1.2. Variante 2 (Sable bitume + BBME)

❖ Partie sur dalle précontrainte

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la Grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de Sable bitume d'une épaisseur de 2cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 6cm.

❖ Partie sur dalle de ciment

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la Grave Bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de Sable bitume d'une épaisseur de 2cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 6cm.

VI.1.3. Variante 3 (Géosynthétiques + EME+BBME)

❖ Partie sur dalle précontrainte

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la Grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une nappe de géogrille sur les 30m centraux.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

❖ **Partie sur dalle de ciment**

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une nappe de géogridde sur les 30m centraux.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

VI.2. Comparaison entre variantes**VI.2.1. Estimation des coûts pour les différentes variantes**

Les variantes sont appliquées sur toute la largeur de la piste principale (60m).

Surface de la piste principale

Partie sur dalle précontrainte : $2428 \times 60 = 145680\text{m}^2$

Partie sur dalle de ciment : $1072 \times 60 = 64320\text{m}^2$

Total : $=210000\text{m}^2$

VI.2.1.1. Variante 1 (classique)

Le tableau VI.2 donne une évaluation financière de la 1ère variante :

Tableau VI.2 : Evaluation financière de la 1er variante

N°	Désignation des Travaux	Unité	Prix unitaire DA	Quantité	Montant DA
01	Scarification de revêtements superficiels existants (BB)	m ²	800,00	210000	168000000,00
02	Fourniture et mise en œuvre de BB 0/14 (2,4t/ m ³)	t	7500,00	49360	370200000,00
03	Fourniture et mise en œuvre de l'émulsion cationique (1,15 Kg/ m ²)	t	67000,00	241,5	16180500,00
Total					554380500,00

VI.2.1.2. Variante 2 (Sable bitume + BBME)

Le tableau VI.3 donne une évaluation financière de la 2ème variante :

Tableau VI.3 : Evaluation financière de la 2ème variante

N°	Désignation des Travaux	Unité	Prix unitaire DA	Quantité	Montant DA
01	Scarification de revêtements superficiels existants (BB)	m ²	800,00	210000	168000000,00
02	Fourniture et mise en œuvre de BBME 0/14 (2,4t/ M ³)	T	10000,00	30240	302400000,00
03	Fourniture et mise en œuvre de l'émulsion cationique (1,15 Kg/ M ²)	T	67000,00	483	32361000,00
04	Fourniture et mise en œuvre du sable bitumineux (2cm)	m ²	1200,00	210000	252000000,00
Total					754761000,00

VI.2.1.3. Variante 3 (Géosynthétiques + BBME)

Le tableau VI.4 donne une évaluation financière de la 3ème variante :

Tableau VI.4 : Evaluation financière de la 3ème variante

N°	Désignation des Travaux	Unité	Prix unitaire DA	Quantité	Montant DA
01	Scarification de revêtements superficiels existants (BB)	m ²	800,00	210000	168000000,00
02	Fourniture et mise en œuvre de BBME 0/14 (2,4t/ m ³)	t	10000,00	40320	403200000,00
03	Fourniture et mise en œuvre de l'émulsion cationique (1,15 Kg/ m ²)	t	67000,00	483	32361000,00
04	Fourniture et pose de la nappe de géogrille	m ²	950,00	105000	99750000,00
Total					703311000,00

VI.2.2. Analyse multicritère

Tableau VI.5 : Comparaison multicritères entre variante

variantes	Durée de vie	Prix TTC (DA)	Avantages	Inconvénients
Variante 1 : (classique)	10 ans	554380500,00	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité. -Insonorisant. -Pose rapide. -Entretien et renforcement facile. -Maitrise de cette technique par les entreprises. - Cout de réalisation moins élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> -Entretien onéreux. -Remontée des fissures. - présence de joints de liaison. -Capacité porteuse statique faible. -Résistance très faible au gradient thermique.
Variante 2 : (Sable bitume + BBME)	15 à 20 ans	754761000,00	<ul style="list-style-type: none"> -Flexibilité. -Insonorisant. -Pose rapide. -Entretien et renforcement facile. -Retarde la remontée des fissures. entretien peu onéreux. -Une bonne résistance à l'orniérage (BBME). -Réduction des épaisseurs des chaussées (matériaux). -Augmentation de la durée de vie des chaussées. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cout de réalisation élevé. -Manque de maitrise de cette technologie par les entreprises. -Présence de joints de liaison. -Sensible aux effets thermiques (fissuration de retrait si le liant est trop dur). -Pas de défauts de planéité de la surface sous la couche de SB (reprofilage préalable éventuel)

<p style="text-align: center;">Variante 3 : (Géosynthétiques + BBME)</p>	<p style="text-align: center;">15 à 20 ans</p>	<p style="text-align: center;">703311000,00</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité. -Insonorisant. -Pose rapide. -Entretien et renforcement facile. -Retarde la remontée des fissures. -Entretien peu onéreux. -Une bonne résistance à l'orniérage (BBME). -Réduction des épaisseurs des chaussées (matériaux). -Augmentation de la durée de vie des chaussées. 	<ul style="list-style-type: none"> -Cout de réalisation élevé. -Manque de maîtrise de cette technologie par les entreprises. -Présence de joints de liaison. -Sensible aux effets thermiques (fissuration de retrait si le liant est trop dur).
---	--	---	--	---

VI.3. Choix de la variante

Dans le tableau précédent, nous avons fait une comparaison entre les trois variantes. A ce niveau, le choix d'une de ces variantes est incertain car les coûts d'investissement et les avantages sont très différents.

La résistance à la fatigue, notamment lors de la fermeture de la 2^{ème} piste pour les travaux de son renforcement entraîne le rabattement de la totalité du trafic sur la piste principale.

Par rapport à l'importance du critère cout, la différence dans le montant par rapport à la variante classique est de :

2^{ème} variante —> 200380500,00 DA.

3^{ème} variante —> 148930500,00 DA.

Et entre la 2^{ème} et la 3^{ème} variante la différence est de 51450000,00 DA.

Les autres critères s'intéressent à la longévité globale de l'ouvrage renforcé, notamment la piste principale.

Les deux dernières variantes ont des avantages similaires. Le sable bitume est plus efficace pour le freinage de la remontée des fissures (source : STBA) mais la géogrille est moins couteuse et plus maîtrisée par les entreprises de réalisation nationales.

Le choix de la solution de renforcement résulte donc d'un compromis entre des critères économiques et techniques. L'examen de ces critères nous donne un avantage à la proposition de la 3^{ème} variante qui consiste à l'interposition d'une géogrille de renforcement avec l'utilisation des enrobés à module élevé, ce qui permettra de freiner la transmission des fissures en surface, et qui permettra également de résister à la fatigue et à l'orniérage; donc augmenter la durée de vie de l'ouvrage.

La 3^{ème} variante est retenue pour l'extension du taxiway ainsi que pour l'ensemble des infrastructures de l'aérodrome sauf le Glam2 qui pose un problème particulier de remontée des fissures en raison de la couche de béton bitumineux de faible épaisseur sur la dalle de béton, donc le critère essentiel recherché dans ce cas est le freinage des fissures.

Donc pour le Glam2 on retient la deuxième variante qui propose l'utilisation des sables bitumes avec des BBME qui est la plus efficace vis-à-vis de ce problème.

VI.4. Application de la variante retenue

VI.4.1. Piste principale, le taxiway05/23 et les bretelles qui les relient

❖ Partie sur dalle précontrainte

$$e = (9 \times 2,5) + (15 \times 1,7) = 48 \text{cm}$$

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une nappe de géogridde sur les 30m centraux.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

❖ Partie sur dalle de ciment

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une nappe de géogridde sur les 30m centraux.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

Note

Les géogriddes sont utilisées seulement pour les pistes et non pas pour les voies de circulations.

VI.4.2. Piste secondaire et partie souple du taxiway 09/27 et SGV3

❖ Partie rigide renforcée ($e_{eq} = 50,25\text{cm}$)

$$e_{eq} = (15 \times 1,3) + (15 \times 1,7) + (8 \times 2,5) = 65 \text{cm}$$

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave ciment et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une nappe de géogridde sur les 30m centraux.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

❖ Partie souple ($e_{eq} = 155\text{cm}$)

$$e_{eq} = (50 \times 0,75) + (25 \times 1,3) + (25 \times 1,3) + (8 \times 1,7) + (16 \times 2,5) = 156 \text{cm}$$

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 7cm ;
- Nettoyage de la surface du béton bitumineux et colmatage éventuel des fissures ;

- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une nappe de géogrille sur les 30m centraux.
- Mise en œuvre d'une couche d'BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

❖ **Zones oued Boutrik (PM 640m au PM 1060m) et oued Saïd (PM 2650m au PM 2890m)**

Ces deux zones sont caractérisées par le passage de deux anciens oueds et qui ont été remblayées pour faire passer la piste secondaire, ces zones ont déjà posé des problèmes de tassement.

Pour ces deux zones ; on propose de mettre la nappe de géogrille sur toute la largeur de la piste (60m) et de fixer des instruments de mesure sur les cotés de la géogrille qui permettent de contrôler le fonctionnement de la chaussée au cours de sa durée de vie et sans traitement particulier vis-à-vis des deux oueds.

VI.4.3. Accotements de la piste secondaire ($e_{eq}=75cm$)

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 6cm ;
- Nettoyage de la surface du béton bitumineux et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/10 d'une épaisseur de 6cm.

VI.4.4. Bretelle C2-C4

C'est la bretelle qui relie le taxiway au Glam1 et au parking fret.

❖ **Partie souple (C4)**

Le dimensionnement a donné une épaisseur $e_{eq}=80cm$, alors que l'épaisseur résiduelle $e=35cm$; à cause de cette différence et pour conserver la ligne de projet actuel on propose de procéder au décapage de l'ancienne chaussée, et la réalisation d'un nouveau corps de chaussée d'une épaisseur équivalente $e_{eq}=80cm$; Comme suit :

$$e_{eq} = (10 \times 1) + (15 \times 1,5) + (15 \times 1,9) + (8 \times 2,5) = 81cm.$$

- Décapage de l'ancienne chaussée sur une épaisseur de 30cm (10cm BB+20cm GNT) ;
- Décapage de la terre naturelle sur une épaisseur de 18cm et Compactage du fond de forme ;
- Mise en œuvre d'une couche de grave non traitée d'une épaisseur de 10cm;
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en cut-back 0-1.
- Mise en œuvre d'une couche de grave bitume 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche d'EME 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

❖ Partie mixte (C2)

Le dimensionnement a donné une épaisseur qui ne nécessite pas un renforcement particulier, mais l'épaisseur équivalente de renforcement souple sur une structure rigide doit être supérieur à 25cm sauf en cas de recours à des enrobés spéciaux (recommandations de l'STBA). Pour se conformer à cette instruction on propose la variante N°2 qui utilise des sables bitumes avec des enrobés à module élevé.

$$e_{eq} = 8 \times 2,5 + 2 \times 1 = 22 \text{cm.}$$

Les étapes de réalisation sont :

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 10cm ;
- Nettoyage de la surface de la dalle et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche anti-remontée de fissures en sable bitume d'une épaisseur de 2cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

VI.4.5. Bretelle E3

Le dimensionnement a donné une épaisseur qui ne nécessite pas un renforcement, pour les mêmes raisons, on propose pour cette partie le même renforcement que la partie souple de C2.

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 10cm ;
- Nettoyage de la surface de la dalle et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche anti-remontée de fissures en sable bitume d'une épaisseur de 2cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

VI.4.6. Bretelle D3

La bretelle D3 relie le taxiway au Glam2, Le dimensionnement a donné une épaisseur $e_{eq}=82\text{cm}$, pour cette partie la variante classique est largement suffisante pour cette chaussée.

$$e_{eq} = (8 \times 2) + (2 \times 1,5) + (14 \times 1,3) + (40 \times 1) + (50 \times 0,6) = 107 \text{cm}$$

Les étapes de réalisation sont :

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface du grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de Béton Bitumineux 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

VI.4.6. Glam 1 (atelier de maintenance)

Nous adaptons pour ces deux zones un nouveau corps de chaussée en structure souple de 93cm d'épaisseur équivalente pour rester au même niveau que les ateliers. On suit les étapes suivantes :

$$e_{eq} = (20 \times 1) + (15 \times 1,5) + (15 \times 1,9) + (9 \times 2,5) = 93,3 \text{cm.}$$

- Décaissement de 59cm de la structure existante et Compactage du fond de forme ;
- Mise en œuvre d'une couche de grave non traitée d'une épaisseur de 20cm;
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en cut-back 0-1.
- Mise en œuvre d'une couche de grave bitume 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche d'EME 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 9cm.

VI.4.8. Glam 2

Même si l'épaisseur trouvée ne nécessite pas un renforcement pour le Glam 2, il est nécessaire d'améliorer l'état de surface. La variante retenue pour ce parking est la deuxième, à cause du problème de remontée de fissures. Les étapes de réalisation sont les suivantes :

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 5cm ;
- Nettoyage de la surface de la dalle et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche anti-remontée de fissures en sable bitume d'une épaisseur de 2cm.
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/10 d'une épaisseur de 5cm.

VI.4.9. Bretelles de L'X et parking national

L'épaisseur équivalente de renforcement trouvée est négligeable. Toute fois il est indispensable de faire une remise à niveau de la couche de roulement.

$$e_{eq} = (12 \times 1,3) + (8 \times 2) = 31 \text{cm.}$$

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de béton bitumineux 0/14 d'une épaisseur de 8cm.

VI.4.10. Accotements des voies de circulations

Les accotements des voies de circulations (taxiway et bretelles) sont très peu utilisés par les aéronefs. Toute fois, leur état est dégradé donc nécessité de renouvellement de la couche de roulements comme suit :

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 6cm ;

- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel des fissures ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de béton bitumineux 0/10 d'une épaisseur de 6cm.

VI.4.11. Extension du taxiway 09/27

A. Taxiway

Compte tenu de l'épaisseur équivalente et de l'épaisseur équivalente minimale des matériaux traités on opte, pour le corps de chaussée suivant :

$$e_{eq} = 50 \times 0,75(TVO) + 45 \times 1(GNT) + 15 \times 1,5(GB) + 15 \times 1,9(EME) + 9 \times 2,5(BBME) = 156cm.$$

- Décapage de la terre végétale sur 134cm d'épaisseur et Compactage du fond de forme ;
- Mise en œuvre d'une couche de TVO d'une épaisseur de 50cm;
- Mise en œuvre d'une couche de grave non traitée d'une épaisseur de 45cm;
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en cut-back 0-1.
- Mise en œuvre d'une couche de grave bitume 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche d'EME 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/14 d'une épaisseur de 9cm.

B. Accotements

Les accotements sont dimensionnés avec la moitié de la charge de l'avion prise en référence, les calculs ont donné une épaisseur de 75cm, qui sera répartie comme suit :

$$e_{eq} = 40 \times 1(GNT) + 15 \times 1,5(GB) + 5 \times 2,5(BBME) = 154,4cm.$$

- Décapage de la terre végétale sur 60cm d'épaisseur et Compactage du fond de forme ;
- Mise en œuvre d'une couche de grave non traitée d'une épaisseur de 40cm;
- Mise en œuvre d'une couche d'imprégnation en cut-back 0-1.
- Mise en œuvre d'une couche de grave bitume 0/20 d'une épaisseur de 15cm ;
- Mise en œuvre d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de BBME 0/10 d'une épaisseur de 5cm.

VI.5. Pentes longitudinales et transversales

VI.5.1. Pentes transversales

VI.5.1.1. Piste principale

Sur la piste principale on va garder les mêmes pentes existantes.

- Pentes de la piste (45m centraux) : 1%
- Pente de piste (au-delà des 45m centraux) : 1,2%

On autorise une différence de niveaux de 1cm (élévation du niveau) entre les bords des accotements et les caniveaux.

VI.5.1.2. Piste secondaire

❖ Partie souple

Suite au rehaussement du niveau de projet pour la secondaire, et pour éviter le rehaussement des caniveaux de drainage ; on a fait un raccordement progressif de la piste aux caniveaux existants au niveau des accotements en utilisant des pentes recommandée par l'OACI comme suit :

- Ancienne Pente de la piste (45m centraux) : 1%
- Ancienne Pente des accotements : 1%
- Pente nécessaire pour le raccordement : $\frac{0,09}{7,5} = 1,2\%$
- Nouvelle Pente de la piste (45m centraux) : 1%
- Nouvelle Pente des accotements : 2,2% (pente autorisée par l'OACI)

❖ **Partie mixte**

Sur cette partie on va garder les mêmes pentes existantes.

- Pente de la piste : 1%
- Pente des accotements : 1%

VI.5.2. Pentas longitudinales

On doit faire un raccordement progressif entre :

- la partie souple rehaussée et la partie rigide de la piste secondaire ;
- le taxiway de la piste secondaire et SGV1 ;
- le taxiway de la piste secondaire et la bretelle A4 ;
- les deux parties de SGV1.

Par une pente de 1%, ce qui nécessite une distance de 9m pour rattraper la dénivellation existante de 9cm.

VI.6. Conclusion

Il est très demandé d'homogénéiser les travaux et d'utiliser les mêmes matériaux; mais dans un cas comme l'aérodrome d'Alger qui est caractérisé par ces structures de chaussées très différentes, on doit garder en priorité l'aspect technique et économique en utilisant les différentes technologies selon nos exigences.

Chapitre VII

Métre

VII.1. Introduction

Toute étude d'un projet d'infrastructure devrait aboutir à la détermination des quantités applicables à chaque opération exécutée, ce qu'on appelle métré ou devis quantitatif. Celui-ci servira de base pour lancer l'avis d'appelle d'offre aux entreprises.

VII.2. Calcul des surfaces

VII.2.1. Piste principale et ses annexes

- Piste principale

Partie sur dalle précontrainte : $2428 \times 60 = 145680\text{m}^2$
 Partie sur dalle de ciment : $1072 \times 60 = 64320\text{m}^2$
 Total : 210000m^2

- Taxiway 05/23

Partie sur dalle précontrainte : $2315 \times 45 = 104175\text{m}^2$
 Partie sur dalle de ciment : $1185 \times 45 = 53325\text{m}^2$
 Total : 157500m^2

- **Bretelles BI, BII, BIII, C3** : $(270 \times 25) + (277 \times 25) + (260 \times 25) + (326 \times 25) = 6750 + 6925 + 6500 + 8150 = 28325\text{m}^2$

- **Bretelle C2** : $383 \times 25 = 9575\text{m}^2$

- **Bretelle C4** : $240 \times 25 = 6000\text{m}^2$

- **Bretelle E3** : $167 \times 25 = 4175\text{m}^2$

- **Bretelle D3** : $245 \times 25 = 6125\text{m}^2$

- **Parking Glam 1** : 58000m^2

- **Parking Glam 2** : 86480m^2

- Accotements des voies de circulation :

$$(270+277+260+383+326+240+167+245+3500) \times 5,5 \times 2 = 62348\text{m}^2$$

VII.2.2. Piste secondaire et ses annexes

- Piste secondaire

Partie souple : $600 \times 45 = 27000\text{m}^2$
 Partie sur dalle précontrainte : $2350 \times 45 = 105750\text{m}^2$
 Total : 132750m^2

- **Accotements de la piste secondaire** : $7,5 \times 3500 \times 2 = 52500\text{m}^2$

- Taxiway 09/27

Partie renforcée : $357,94 \times 25 = 8948,5\text{m}^2$

- **Partie souple de SGV3**

Partie souple renforcée : $93,98 \times 25 = 2349,5\text{m}^2$

- **Bretelles de l'X (A1, A2, A3, A4, A6, A7, B1, B2, B3, B4, B5, C1)**

$(518 + 225 + 104 + 390 + 196 + 360 + 530 + 255 + 111 + 397 + 316 + 194 + 188) \times 25$
 $= 3784 \times 25 = 94600\text{m}^2$.

- **Parking national** : 50000m^2

- **Accotements des voies de circulation**

$(357,94 + 93,98 + 3784) \times 9,5 \times 2 = 80482,48\text{m}^2$

VII.2.3. Extension du taxiway

Chaussée du taxiway : $1193,5 \times 25 = 29837,5\text{m}^2$

Accotement du taxiway : $1193,5 \times 9,5 \times 2 = 22676,5\text{m}^2$

VII.3. Calcul de quantité des matériaux et des travaux

VII.3.1. Fraisage [m^2]

- Piste principale	: 210000 m^2
- Taxiway 05/23	: 157500m^2
- Bretelle BI, BII, BIII, C3	: 28325m^2
- Accotements des voies de circulation de la PP	: 62348 m^2
- Piste secondaire	: 132750m^2
- Taxiway 09/27	: $8948,5\text{m}^2$
- SGV3	: $2349,5\text{m}^2$
- Accotements de la piste secondaire	: 52500m^2
- Accotements des voies de circulation de la PS	: $80482,48\text{m}^2$
- Bretelle C2	: 9575 m^2
- Bretelle E3	: 4175m^2
- Bretelle D3	: 6125m^2
- Glam 2	: 86480 m^2
- Parking national	: 50000m^2
- Bretelles de l'X	: 94600m^2
TOTAL	: $986158,48\text{m}^2$

VII.3.2. Décaissement des structures existantes [m^3]

- Glam1	: $58000 \times 0,59 = 34220\text{m}^3$
- Bretelle C4	: $6000 \times 0,30 = 1800\text{m}^3$
TOTAL	: 36020m^3

VII.3.3. Décapage de terre naturelle [m³]

- Bretelle C4	: $6000 \times 0,18 = 1080 \text{m}^3$
- Chaussée du taxiway	: $29837,5 \times 1,34 = 39982,25 \text{m}^3$
- Accotement du taxiway	: $22676,5 \times 0,60 = 13605,9 \text{m}^3$
TOTAL	: 54668,15m³

VII.3.4. Compactage de fond de forme [m²]

- Bretelle C4	: 6000m ²
- Chaussée du taxiway	: 29837,5m ²
- Accotement du taxiway	: 22676,5m ²
TOTAL	: 58514m²

VII.3.5. Emulsion cationique [Kg]

- piste principale	: $210000 \times 1,15 = 241500 \text{ kg}$
	: $105\ 000 \times 1,15 = 120750 \text{ Kg}$
- Taxiway 05/23	: $157500 \times 1,15 = 181125 \text{ Kg}$
- Bretelle BI, BII, BIII, C3	: $28325 \times 1,15 = 32573,75 \text{ Kg}$
- Accotements des vois de circulation de la PP	: $62348 \times 1,15 = 71700,10 \text{ Kg}$
- Piste secondaire (en tenant compte de différentes sections)	
	: $(180 \times 30 + 180 \times 45 \times 2 + 420 \times 3 \times 45) \times 1,15 = 90045 \text{ Kg}$
	: $(2110 \times 45 + 2110 \times 30 + 240 \times 2 \times 45) \times 1,15 = 206827,5 \text{ Kg}$
- Taxiway 09/27	: $8948,5 \times 2 \times 1,15 = 20581,55 \text{ Kg}$
- SGV3	: $2349,5 \times 2 \times 1,15 = 5401,55 \text{ Kg}$
- Accotements de la piste secondaire	: $52500 \times 1,15 = 60375 \text{ Kg}$
- Accotements des vois de circulation de la PS	: $80482,48 \times 1,15 = 92554,3 \text{ Kg}$
- Bretelle C2	: $9575 \times 1,15 \times 2 = 22022,5 \text{ Kg}$
- Bretelle C4	: $6000 \times 1,15 \times 2 = 13800 \text{ Kg}$
- Bretelle E3	: $4175 \times 1,15 \times 2 = 9602,5 \text{ Kg}$
- Bretelle D3	: $6125 \times 1,15 = 7043,75 \text{ Kg}$
- Glam 1	: $58000 \times 1,15 \times 2 = 133400 \text{ Kg}$
- Glam 2	: $86480 \times 1,15 \times 2 = 198904 \text{ Kg}$
- Parking national	: $50000 \times 1,15 = 57500 \text{ Kg}$
- Bretelles de l'X	: $94600 \times 1,15 = 108790 \text{ Kg}$
- Taxiway (extension)	: $29837,5 \times 1,15 \times 2 = 68626,25 \text{ Kg}$
- Accotements du taxiway (extension)	: $22676,5 \times 1,15 = 26077,98 \text{ Kg}$
TOTAL	: 1769200,73 Kg

VII.3.6. Cut-back [Kg]

- Glam 1	: $58000 \times 1,25 = 72500 \text{ Kg}$
- Bretelle C4	: $6000 \times 1,25 = 7500 \text{ Kg}$
- Taxiway (extension)	: $29837,5 \times 1,25 = 37296,88 \text{ Kg}$

- Accotements du taxiway (extension) : $22676,5 \times 1,25 = 28345,63$ Kg
- **TOTAL** : **145642,51Kg**

VII.3.7. Béton bitumineux à module élevé [t]

- Piste principale : $210000 \times 0,08 \times 2,4 = 40320$ t
- Taxiway 05/23 : $157500 \times 0,08 \times 2,4 = 30240$ t
- Bretelle BI, BII, BIII, C3 : $28325 \times 0,08 \times 2,4 = 5438,40$ t
- Piste secondaire : $27000 \times 0,08 \times 2,4 = 5184$ t
- : $105750 \times 0,16 \times 2,4 = 40608$ t
- Taxiway 09/27 : $8948,5 \times 0,08 \times 2,4 = 1718,11$ t
- SGV3 : $2349,5 \times 0,08 \times 2,4 = 451,10$ t
- Accotements de la piste secondaire : $52500 \times 0,06 \times 2,4 = 7560$ t
- Bretelle C2 : $9575 \times 0,08 \times 2,4 = 1838,40$ t
- Bretelle C4 : $6000 \times 0,08 \times 2,4 = 1152$ t
- Bretelle E3 : $4175 \times 0,08 \times 2,4 = 801,60$ t
- Glam 1 : $58000 \times 0,09 \times 2,4 = 12528$ t
- Glam 2 : $86480 \times 0,05 \times 2,4 = 10377,30$ t
- Taxiway (extension) : $29837,5 \times 0,08 \times 2,4 = 5728,80$ t
- Accotements du taxiway (extension) : $22676,5 \times 0,08 \times 2,4 = 4353,89$ t
- Raccordement (estimation) : $459,68 \times 2,4 = 1103,23$ t
- **TOTAL** : **169402,80 t**

VII.3.8. Enrobée à module élevée [t]

- Bretelle C4 : $6000 \times 0,15 \times 2,4 = 2160$ t
- Glam 1 : $58000 \times 0,15 \times 2,4 = 20880$ t
- Taxiway (extension) : $29837,5 \times 0,15 \times 2,4 = 10741,5$ t
- **TOTAL** : **33781,5 t**

VII.3.9. Béton bitumineux [t]

- Parking national : $50000 \times 0,08 \times 2,4 = 6000$ t
- Bretelles de l'X : $94600 \times 0,08 \times 2,4 = 18163,2$ t
- Accotements des vois de circulation de la PP : $62348 \times 0,06 \times 2,4 = 8978,11$ t
- Accotements des vois de circulation de la PS: $80482,48 \times 0,06 \times 2,4 = 11589,48$ t
- Raccordement (estimation) : $315,17 \times 2,4 = 756,41$ t
- **TOTAL** : **45487,20 t**

VII.3.10. Grave bitume [t]

- Bretelle C4 : $6000 \times 0,15 \times 2,4 = 2160$ t
- Glam 1 : $58000 \times 0,15 \times 2,4 = 20880$ t
- Taxiway (extension) : $29837,5 \times 0,15 \times 2,4 = 10741,5$ t
- Accotements du taxiway (extension) : $22676,5 \times 0,15 \times 2,4 = 8163,54$ t
- **TOTAL** : **41945,04t**

VII.3.11. TVO [m³]

- Taxiway (extension) : $29837,5 \times 0,50 = 14918,75 \text{ m}^3$

VII.3.12. Grave concassée [m³]

- Bretelle C4 : $6000 \times 0,10 = 600 \text{ m}^3$
- Glam 1 : $58000 \times 0,20 = 11600 \text{ m}^3$
- Taxiway (extension) : $29837,5 \times 0,45 = 13426,87 \text{ m}^3$
- Accotements du taxiway (extension) : $22676,5 \times 0,40 = 9070,6 \text{ m}^3$

TOTAL : 34697,47 m³

VII.3.13. Sable bitume [m²]

- Bretelle E3 : 4175 m^2
- Glam 2 : 86480 m^2

TOTAL : 90655 m²

VII.3.14. Géogrille [m²]

- Piste principale : $3500 \times 30 = 105000 \text{ m}^2$
- Piste secondaire : $(180 + 2110) \times 30 = 68700 \text{ m}^2$
- : $660 \times 60 = 39600 \text{ m}^2$

TOTAL : 213300 m²

VII.4. Estimation du cout de projet

Le tableau VII.1 donne une évaluation des couts de fourniture et mise en œuvre des différents matériaux et travaux réalisés dans le projet :

Tableau VII.1 : Evaluation financière du projet

Travaux et matériaux	Prix unitaire DA	quantité	unité	Montant DA
Fraisage	800,00	986158,48	m ²	788926784,00
Décaissement des structures existantes	400,00	36020	m ³	14408000,00
Décapage de terre naturelle	250,00	54668,15	m ³	136670375,00
Compactage de fond de forme	150,00	58514	m ²	8777100,00
Emulsion cationique	67000,00	1769,2	T	118536400,00
Cut-back	65000,00	145,64	T	9466600,00
Béton bitumineux à module élevé	10000,00	169402,80	T	1694028000,00
Enrobée à module élevée	8500,00	33781,50	T	287142750,00
Béton bitumineux	7500,00	45487,20	T	341154000,00
Grave bitume	7000,00	41945,04	T	293615280,00
Géogridde	950,00	213300	m ²	202635000,00
Grave concassée	3500,00	34697,47	m ³	121441145,00
TVO	150,00	14918,75	m ³	22378125,00
Sable bitume	1200,00	90655	m ²	108786000,00
MONTANT TOTAL				4147965559,00

VII.5. Conclusion

Le cout du projet est évalué à quatre milliards cent quarante sept millions neuf cent soixante-cinq milles, cinq-cents cinquante-neuf dinars (4147965559,00 DA). A ce cout viennent s'ajouter les prix d'installation et de désinstallation de chantier.

Chapitre VIII

ACN/PCN

VIII.1. Introduction

La méthode *ACN-PCN* est un système de gestion 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. Elaboré par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI), imposée aux constructeurs d'avions, cette méthode est applicable, depuis 1983, par l'ensemble des états membres, y compris l'Algérie.

VIII.2. Définition des termes

- *L'ACN* (Aircraft Classification Number) est un nombre exprimant l'effet d'un avion donnée sur un type de chaussée donnée (chaussées rigides, chaussées souple) pour une catégorie de sol support spécifique.
- *Le PCN* (Pavement Classification Number) est un nombre exprimant la portance d'une chaussée donnée.

VIII.3. Présentation de la méthode ACN-PCN

Le principe général de cette méthode est le suivant : un avion dont l'ACN est inférieur ou égal au PCN d'une chaussée peut utiliser cette chaussée sans autre restriction sous réserve de limitation due à la pression des pneumatiques.

❖ Tableau d'indications et codifications

Tableau VIII.1 : Indications et codifications

Catégories d'indications			Lettre de code
1. Type de chaussée :			
• <i>Souple</i>			F
• <i>Rigide</i>			R
2. Catégorie de résistance du sol support :			
<u>Résistance élevée</u>	$K > 120 \text{ MN/m}^3$	$\text{CBR} \geq 13$	A
<u>Résistance moyenne</u>	$60 \leq K \leq 120 \text{ MN/m}^3$	$8 \leq \text{CBR} \leq 13$	B
<u>Résistance faible</u>	$25 \leq K \leq 60 \text{ MN/m}^3$	$4 \leq \text{CBR} \leq 8$	C
<u>Résistance ultra-faible</u>	$K \leq 25 \text{ MN/m}^3$	$\text{CBR} \leq 4$	D
3. Pression maximale admissible des pneumatiques :			
<u>Elevé</u>	pas de limite de pression		W
<u>Moyenne</u>	pression limitée à 1,50 MPa		X
<u>Faible</u>	pression limitée à 1,00 MPa		Y
<u>Très faible</u>	pression limitée à 0,50 MPa		Z
4. Base d'évaluation :			
<u>Evaluation technique</u> : étude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisation de technique d'études du comportement des chaussées.			T
<u>Evaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions</u> : connaissance du type et de la masse spécifiques des avions utilisées régulièrement et que la chaussée supporte de façon satisfaisante.			U

VIII.3.1. Calcul de l'ACN

L'ACN est un paramètre représentant « l'agressivité » d'un avion sur une chaussée. La détermination des ACN se fait soit de façon théorique, soit par un calcul normalisé imposé par l'OACI.

VIII.3.1.1. Détermination théorique

L'ACN d'un avion est un nombre qui, par définition, est égal à deux fois la charge, calculée en tonnes, sur une **roue simple équivalente** (RSE), gonflée à 1,25 MPa, à l'atterrisseur principal de l'avion considéré dont les pneus sont gonflés à la pression standard **q** donnée par le constructeur.

Sa détermination, pour un type de chaussée et pour une catégorie de sol support, résulte donc de deux étapes successives, à savoir :

- détermination, par la méthode américaine adaptée, de l'épaisseur équivalente du corps de chaussée (pour une chaussée souple) ou de celle de la dalle de béton (pour chaussées rigide) qui devrait être associée à telle catégorie de sol support pour supporter l'atterrisseur à la pression **q**.
- détermination de la charge en tonnes sur roue simple gonflée à 1,25 Mpa correspondant à cette épaisseur.

L'ACN ainsi obtenu n'est associé qu'à la pression **q**, au type de chaussée (simple ou rigide), et la catégorie de sol support.

VIII.3.1.2. Détermination pratique

Les ACN des principaux avions existants sont fournis, à vide et à pleine charge, pour chacun des deux types de chaussées et pour quatre catégories de sol support, définie lui-même, soit par son CBR pour les chaussées souples, soit par son module de réaction pour les chaussées rigides.

a. Tableau des ACN des principaux avions commerciaux

Tableau VIII.2 : ACN des principaux avions

Type d'avions	Masse (Kg) Maximale M Minimale m	V _s (%)	q (MPa)	ACN							
				Chaussée souple				Chaussée rigide			
				A	B	C	D	A	B	C	D
A330-300	226400	47,5	1,42	62	67	78	106	53	61	73	85
	165000			42	45	50	67	37	41	47	55
A320-212	76400	46,94	1,22	21	23	28	38	20	24	29	33
	49000			12	13	15	20	11	13	16	18
ATR72	21100	47,5	0,72	11	12	14	15	13	14	14	15
	12500			6	6	7	8	7	7	8	8
B737-800	77710	47,5	1,47	44	46	51	56	51	53	55	57
	40600			21	21	23	26	23	25	26	27
B747-SP	312700	23,8	1,26	45	50	61	81	40	48	58	67
	150000			18	19	21	28	16	18	21	25
B757-300	120000	47,5	1,24	36	41	51	64	35	42	49	56
	64000			16	17	20	27	15	17	21	24
B767-300ER	178400	47,5	1,38	53	59	72	94	48	57	68	78
	89000			22	23	26	35	20	23	26	30
B777-300ER	334500	46,8	1,50	62	70	87	118	64	83	107	128
	164600			24	26	30	41	28	29	35	44

b. Détermination des ACN

Pour un avion de masse M_t comprise entre ces masses maximales M et masses minimales m , l'ACN varie linéairement entre ces deux valeurs. Suivant les caractéristiques fournies dans le tableau des ACN pour chaque type d'avions et suivant le type de chaussée et la catégorie du sol support, le calcul de l'ACN se fait d'une simple interpolation :

$$ACN = ACN_{\min} + (ACN_{\max} - ACN_{\min}) \times \frac{M_t - m}{M - m}$$

Toutefois, si la pression de gonflage effective des pneumatiques q' diffère de la pression standard q de 0,1 ($q' - q > 0,1$) une correction doit être réalisée selon les indications suivantes :

- Chaussée souple

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

- Chaussée rigide

L'abaque ci-après est utilisé :

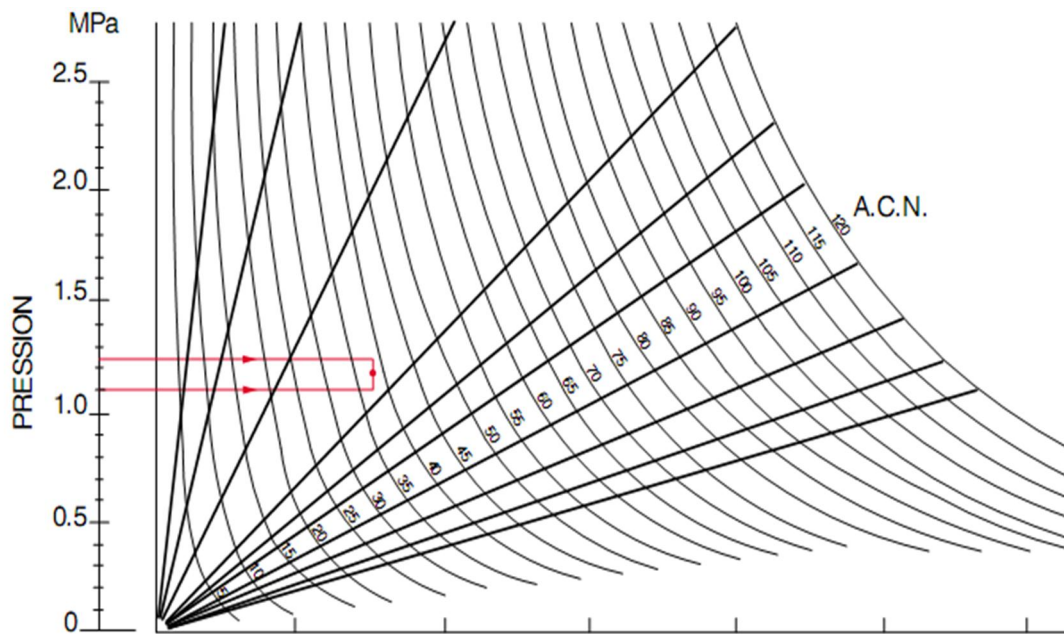


Figure VIII.1 : Abaque de correction des ACN en fonction de la pression réelle q' de gonflage des pneumatiques sur chaussée rigide

VIII.3.2. Calcul du PCN

Le principe de cette méthode est relativement simple puisque l'on associe à chaque zone homogène d'une plate-forme un numéro PCN qui reflète la capacité portante de la chaussée.

Cette information est publiée de manière à donner les informations suivantes :

- Nature de la chaussée
- Qualité de résistance de sol support
- Limitation de pression de gonflage des pneumatiques
- Base d'évaluation du PCN

Pour calculer le PCN il faut connaître,

- Le CBR du sol support et l'épaisseur équivalente totale pour les *chaussées souples*.
- Le module de réaction, épaisseur réelle de la dalle en béton et contrainte admissible de traction par flexion du béton pour les *chaussées rigides*.

La méthode d'évaluation du PCN d'une chaussée étant laissée à l'initiative de chaque pays membre de l'OACI, de façon générale la détermination du PCN se fait soit par le calcul, soit par expérience.

a. Détermination du PCN par expérience

Il peut s'avérer nécessaire de publier le PCN 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 PCN peut être déterminé par expérience du trafic en fonction de l'ACN de l'avion le plus contraignant qui l'utilise régulièrement. Dans ce cas, la valeur du PCN à retenir est égale à l'ACN de cet avion à sa charge maximale sur l'aérodrome, ACN divisé par 1,1 ou 1,05 selon que la chaussée est souple ou rigide. Il est publié en code U.

b. Détermination du PCN par calcul

Il existe deux méthodes dans la détermination par calcul :

- **Calcul forfaitaire**

Ce calcul est applicable aux chaussées souples et rigides et ne fait pas intervenir le trafic. Par contre il fait intervenir la notion de **Roue Simple Isolée (RSI)** : charge sur une roue simple isolée gonflé à 0,6 MPa.

Chaussée souple

Sur la base des caractéristiques de la chaussée (épaisseur équivalente « e », CBR du sol support pour chaussée souple, module de réaction épaisseur de la dalle de béton pour chaussée rigide) le calcul de la RSI est donné par la formule suivante (établie par l'US Corps Of Engineers)

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

e : épaisseur équivalente en centimètre

RSI : en tonnes

Log : logarithme décimale

Le PCN se calcul alors par les formules suivantes :

$$PCN = H (CBR) \times RSI \longrightarrow \text{Chaussée souple}$$

L'abaque donnant les valeurs d'H (CBR) pour le calcul des PCN approchés d'une chaussée souple est donné en annexe.

Chaussée rigide

Le calcul de la RSI pour chaussée rigide est régi par un programme informatique fondé sur la méthode de la Portland Cement Association.

Ce programme informatique a été adapté par le STBA pour réaliser le tracé d'abaque qui permet un calcul manuel de dimensionnement.

Il existe des abaques qui permettent le calcul approximatif de la RSI. Le PCN se définit alors comme le produit de la RSI par un coefficient du module de réaction K de la fondation et la catégorie de résistance du sol support associée.

$$PCN = G (K) \times RSI \longrightarrow \text{Chaussée rigide}$$

Les abaques ci-après permettent d'évaluer les coefficients H ou G.

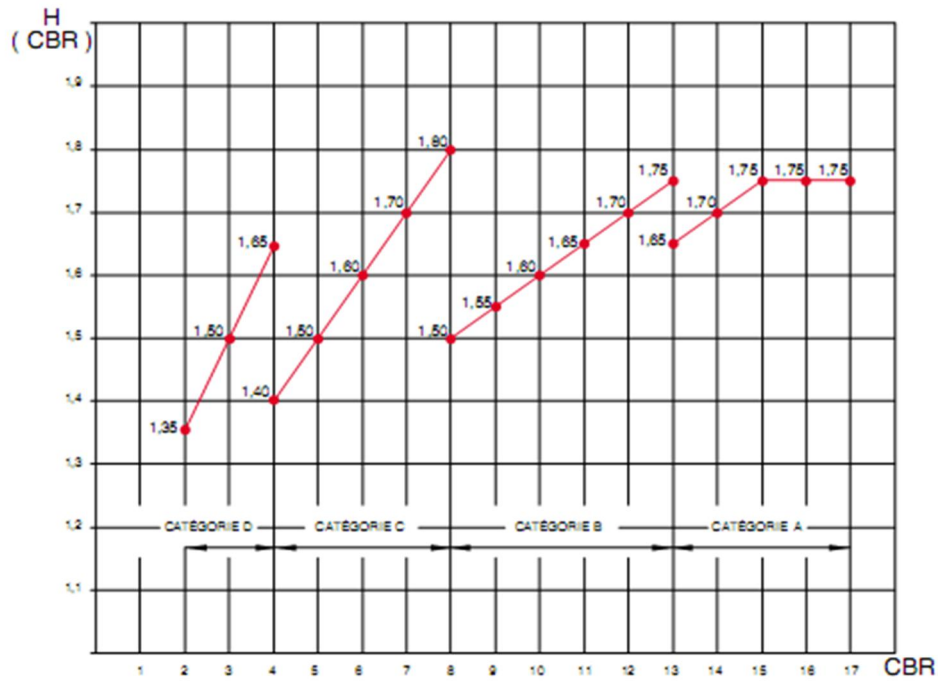


Figure VIII.2 : Abaque des valeurs de H (CBR) pour le calcul du PCN approché des chaussées souples

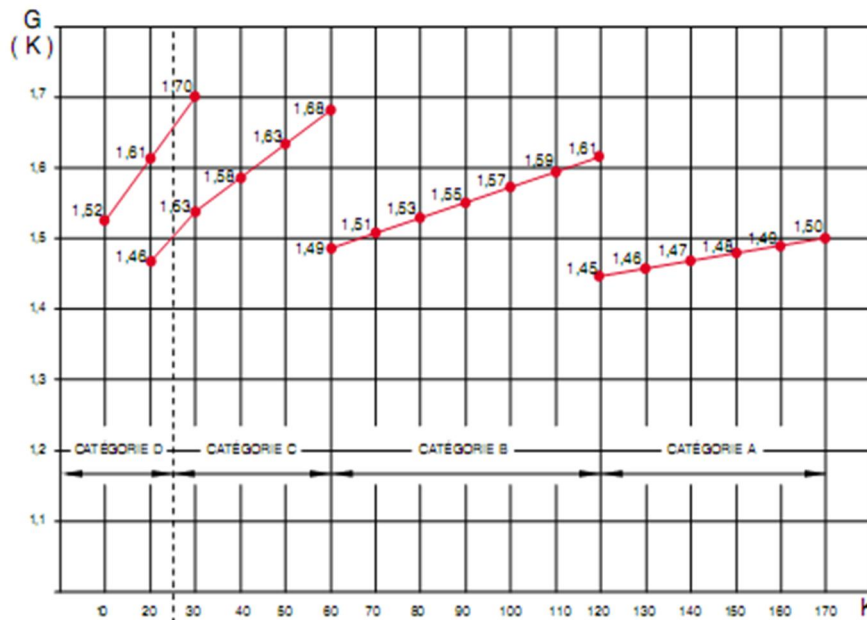


Figure VIII.3 : Abaque des valeurs de G (K) pour le calcul du PCN approché des chaussées rigides

Bien qu'approchées, les valeurs de PCN 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.

• **Calcul optimisé**

Le calcul optimisé du PCN sera choisi chaque fois que seront à la fois connus les caractéristiques de la chaussée et le trafic de référence, ce dernier ne prenant en compte que les avions ayant un effet significatif sur la chaussée.

Le trafic de référence sera :

- Pour une chaussée neuve, celui pris pour base de dimensionnement,
- Pour une chaussée existante, celui qui, acceptable par la plate-forme, ou bien fréquente régulièrement celle-ci, ou bien est prévu à plus ou moins court terme.

La valeur du PCN résultant de son calcul optimisé est égale à la somme des ACN des avions du trafic de référence à leur charge admissible pondérées par la part t' de trafic de référence prise par chacun d'eux :

$$PCN = (ACN_1 \times t'_1) + (ACN_2 \times t'_2) + \dots + (ACN_n \times t'_n)$$

Le PCN ainsi déterminé sera publié par la suite avec le code T.

Le PCN optimisé est le mieux adapté à une gestion économique de la plate-forme. Conduisant à des sous-évaluations pour les chaussées surdimensionnées, sa valeur pourra être relevée ultérieurement en fonction du développement de la plate-forme.

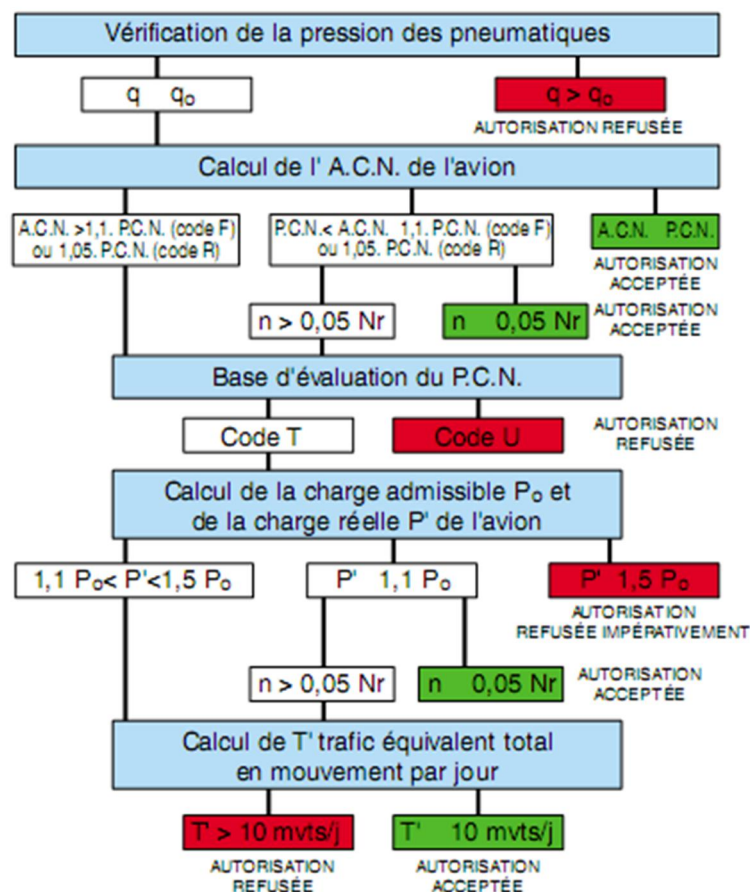


Figure VIII.4 : Algorithme d'admissibilité

❖ **Légende**

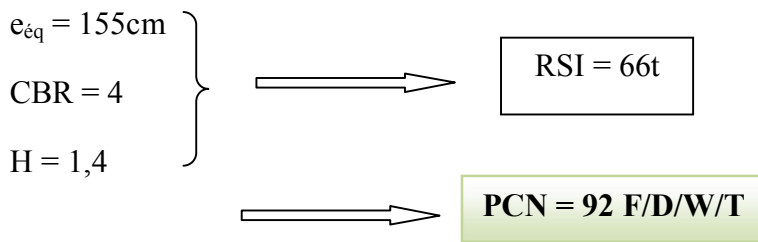
- $P_0 = m + (M - m) \left(\frac{PCN - ACN_{min}}{ACN_{max} - ACN_{min}} \right)$
- q : pression réelle de gonflage des pneumatiques de l'avion
- q_0 : pression limite de gonflage des pneumatiques
- n : nombre de mouvements en surcharge
- N_r : nombre de mouvements contenus dans le trafic de référence

VIII.4. Résultats de l'aérodrome d'Alger**VIII.4.1. PCN**❖ **Données de bases**

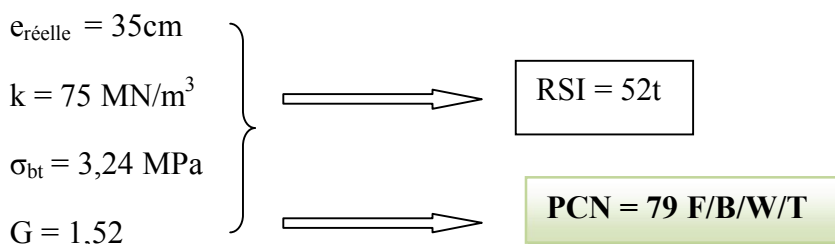
- CBR = 4
- La résistance de béton à la flexion égale à 5,83MPa.
- Dalle avec dispositif de transfert de charge $C_s=1,8$
- Contrainte admissible de traction par flexion $\sigma_{bt} = \frac{5,83}{1,8} = 3,24 \text{ MPa}$.
- Module de réaction du terrain de fondation $K=75\text{Mn/m}$.

❖ **Avant renforcement**

- Piste principale : **PCN = 75 F/D/W/T**
- Piste secondaire : **PCN = 78 F/D/W/T**

❖ **Après renforcement****Chaussée souple (piste secondaire)****Chaussée mixte (Piste principale et secondaire)**

On calculera le PCN d'une chaussée mixte en considérant le PCN d'une chaussée rigide équivalente et la publication sera en tant que chaussée souple. Parce que l'épaisseur des couches en souple sont supérieures à 25cm (source : Manuel de conception volume 3).



Chaussée rigide (piste secondaire)

$$\left. \begin{array}{l} e_{réelle} = 35\text{cm} \\ k = 95 \text{ MN/m}^3 \\ \sigma_{bt} = 3,24 \text{ MPa} \end{array} \right\} \longrightarrow \boxed{\text{RSI} = 53\text{t}}$$

$$G = 1,52$$

Le PCN de la partie rigide est :

$$\boxed{\text{PCN} = 81 \text{ R/B/W/T}}$$

Note

Le PCN retenu pour l'ensemble des parties d'une piste est le PCN le plus défavorable qui est de 79

VIII.4.2. ACN**❖ Données de bases**

- Avion de référence l'A330-300 (configuration 3)
- Masse maximale de l'avion : $M = 226,4\text{t}$
- Masse minimale de l'avion : $m = 169,7\text{t}$
- Masse de l'avion : $M_t = M = 226,4\text{t}$
- Pression standard de gonflage : $q = 1,42 \text{ MPa}$
- $\text{ACN} = \text{ACN}_{\max}$

Chaussée souple

$$\boxed{\text{ACN} = 79}$$

Chaussée rigide

$$\boxed{\text{ACN} = 74}$$

VIII.5. Conclusion

Au vue des valeurs obtenus à partir du potentiel renforcement, l'avion de dimensionnement de notre étude et qui est considéré comme l'avion le plus contraignant peut atterrir sans aucune restriction étant donné que les PCN de l'aérodrome sont supérieur à son ACN.

CONCLUSION GENERALE

L'étude de réhabilitation d'un aérodrome nécessite une attention particulière axée sur les données existantes telle que (météorologie, trafic, sol support.....etc.).

Le site actuel de l'aérodrome d'Alger présente de nombreux inconvénients, ce site est situé dans une région marécageuse, de plus, la piste secondaire 09/27 est traversée par deux oueds (oued Saïd et oued Boutrik), elle est par conséquent sujette à des tassements à leur niveau.

Notre travail nous a permis en 1^{er} lieu de savoir comment évaluer les dégradations présentes sur les pistes d'atterrissage ; et on a pu observer que les dégradations les plus répandues étaient des fissures. Suite à ça, nous avons pu calculer l'indice de service donnant un ordre de grandeur de l'état de chaussée. On a approfondi ces résultats par une auscultation (Géoradar) donnant les anomalies existantes dans le corps de chaussée et délimitant avec précision les deux oueds sous la piste secondaire.

Il est plus que nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés, pour cela, une étude géotechnique est requise pour étudier les caractéristiques mécaniques et physiques des terrains ; elle constitue une source d'informations indispensable afin de réaliser les travaux avec un minimum d'aléas possibles et d'assurer la stabilité des ouvrages.

Ayant pris connaissance de ces données, on a effectué un dimensionnement du renforcement pour les différentes infrastructures de l'aérodrome et on a proposé des variantes en adoptant quelques solutions innovantes (Géogrilles, d'EME et de BBME) dans un esprit de promouvoir les nouvelles technologies. Aussi, l'aspect économique a eu son importance à travers une étude technico-économique, faisant apparaître une estimation des coûts de réalisation et une comparaison entre les différentes variantes.

Une telle étude d'aérodrome a été une occasion pour nous de bénéficier des connaissances et expériences des spécialistes d'une part, et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour élaborer un projet de travaux publics.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **Organisation de l'Aviation Civile Internationale.** "Annexe 14, à la convention relative à l'aviation civile internationale" norme international, Chicago (année 2009).

[2] **Service Technique des Bases Aériennes** " Catalogue de dégradations des chaussées aéronautiques" norme française, France (année 2007).

[3] **Service Technique des Bases Aériennes** " Auscultation des aérodromes" norme française, France (année 1994).

[4] **Service Technique des Bases Aériennes** "Conception et construction des chaussées aéronautiques " norme française, France (année 2007).

[5] **Service Technique des Bases Aériennes** "dimensionnement des chaussées aéronautiques " norme française, France (année 1983).

[6] **Service Technique des Bases Aériennes** "Techniques anti-remontes des fissures (guide d'emploi en chaussées aéronautiques)" norme française, France (année 1999).

[7] **Service Technique des Aviation Civile** " Emploi des matériaux bitumineux à module élevé en chaussées aéronautiques" norme française (année 2009).

[8] **Service Technique des Bases Aériennes** " La méthode ACN-PCN comme outil de gestion des chaussées aéronautiques" norme française, France (année 2001).

[9] **Service Technique des Aviation Civile** " Instruction Technique de l'Aviation Civile" norme française, France (année 1999).

[10] **Organisation de l'Aviation Civile Internationale.** "Manuel de conception des chaussées aéronautiques ; partie 3" norme international, Chicago (année 2009).

[11] **George Jeufroy** "Conception des chaussées".

[12] **George Meunier** "Conception et gestion des aérodromes".

[13] **Yves BROSSEAUD** "nouvelle technique de construction et de l'entretien des chaussées" Les enrobés à module élevé : bilan de l'expérience française et transfert de technologie, Communication pour le 7eme Congrès National de la Route, Maroc (année 2006).

[14] **Mme DADDA chef de département / DIMA (CTTP)** "Suivi de comportement des pistes aéroportuaires traitées par les produits Géosynthétiques" Séminaire sur les Géosynthétiques, Communication ; Algérie (2011).

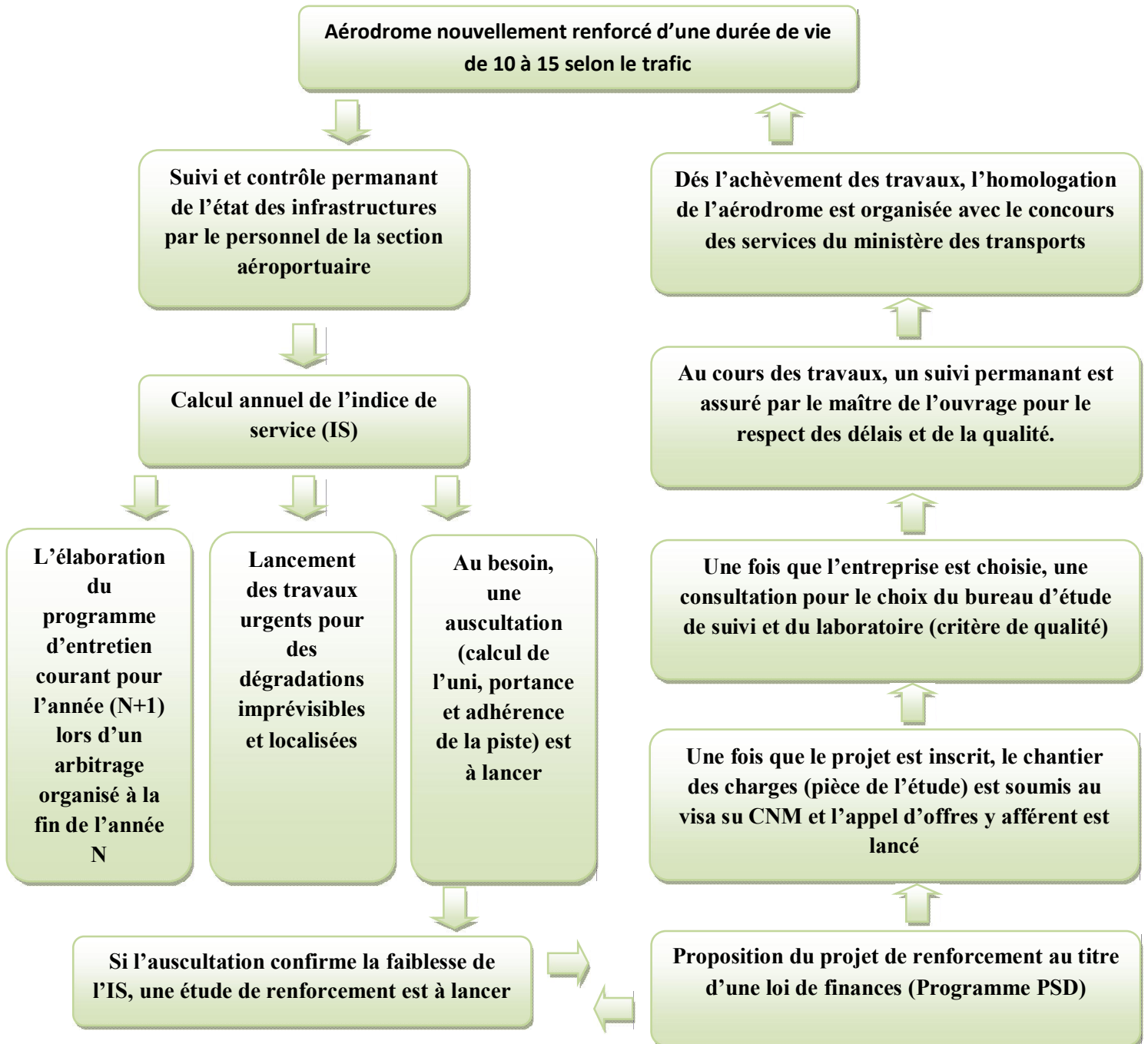
[16] **Société Algérienne D'études D'infrastructures** "Rapports d'étude avant projet" rapport technique, Algérie (année 2009).

[17] **Laboratoire Central des Travaux Publics** "Rapports géotechnique" rapport technique, Algérie (année 2010).

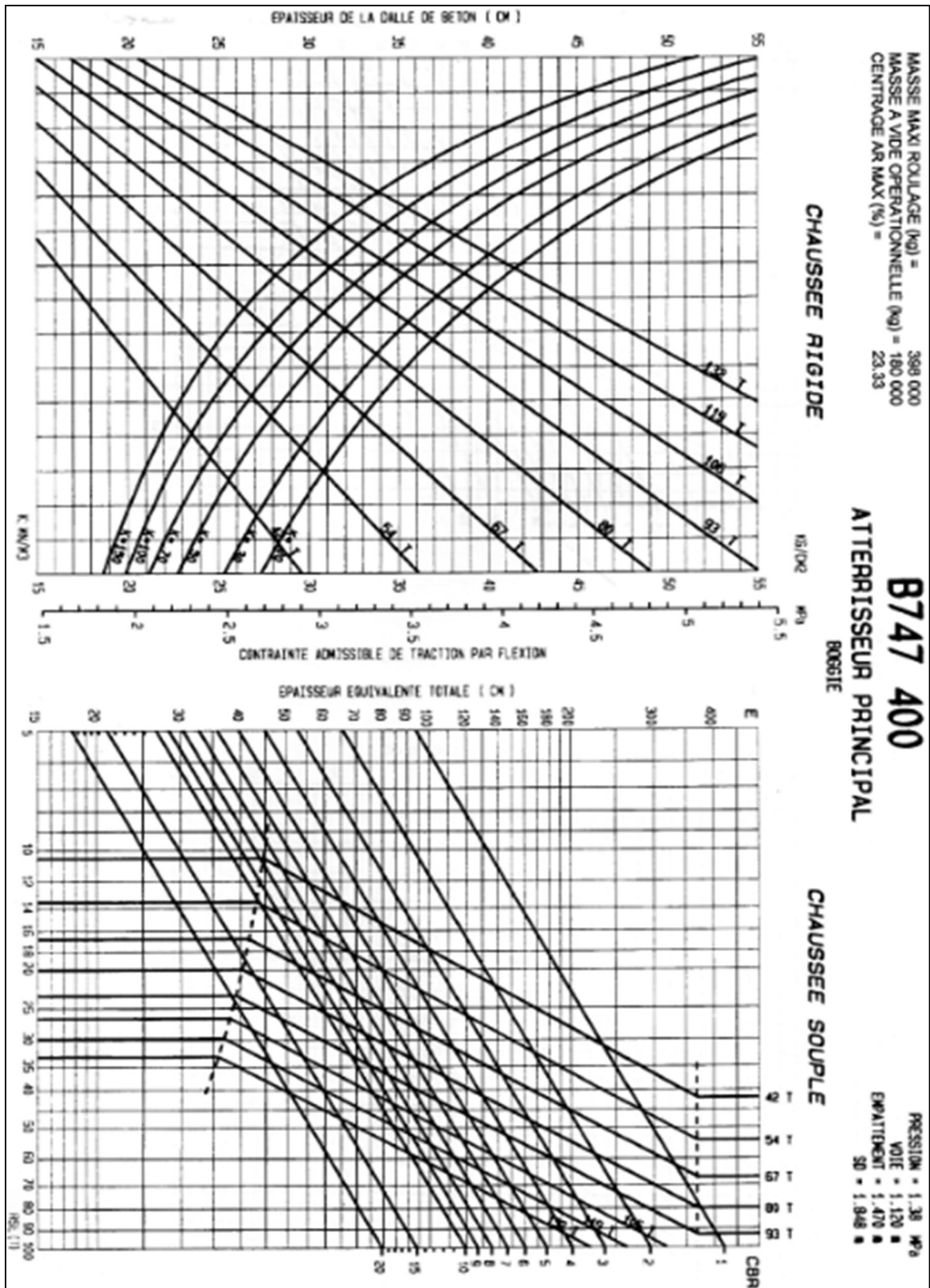
[18] **Liens électroniques** : - www.techniques-ingenieur.fr
- www.stac.aviation-civile.gouv.fr.



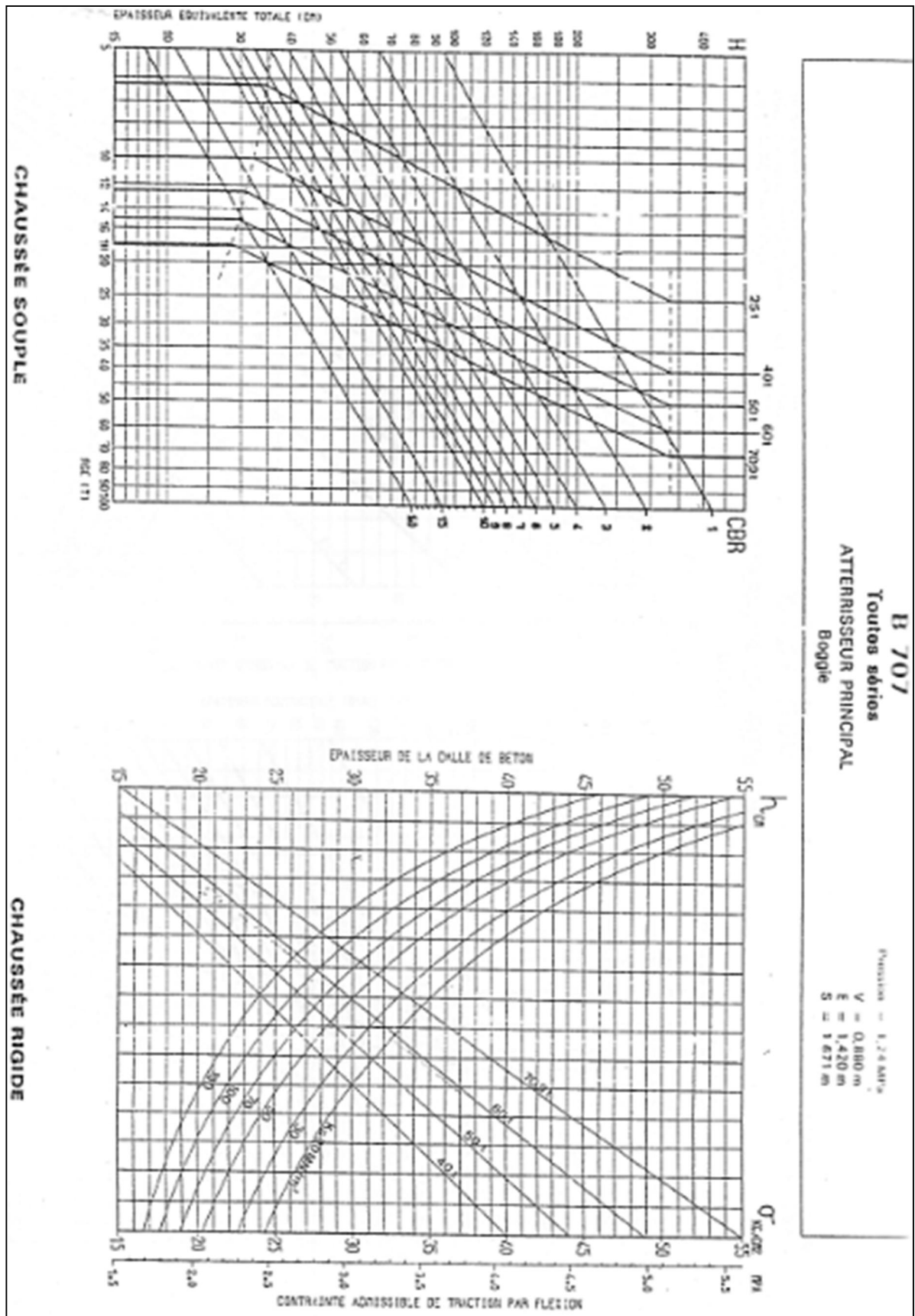
Annexes

Cycle de gestion aéroportuaire

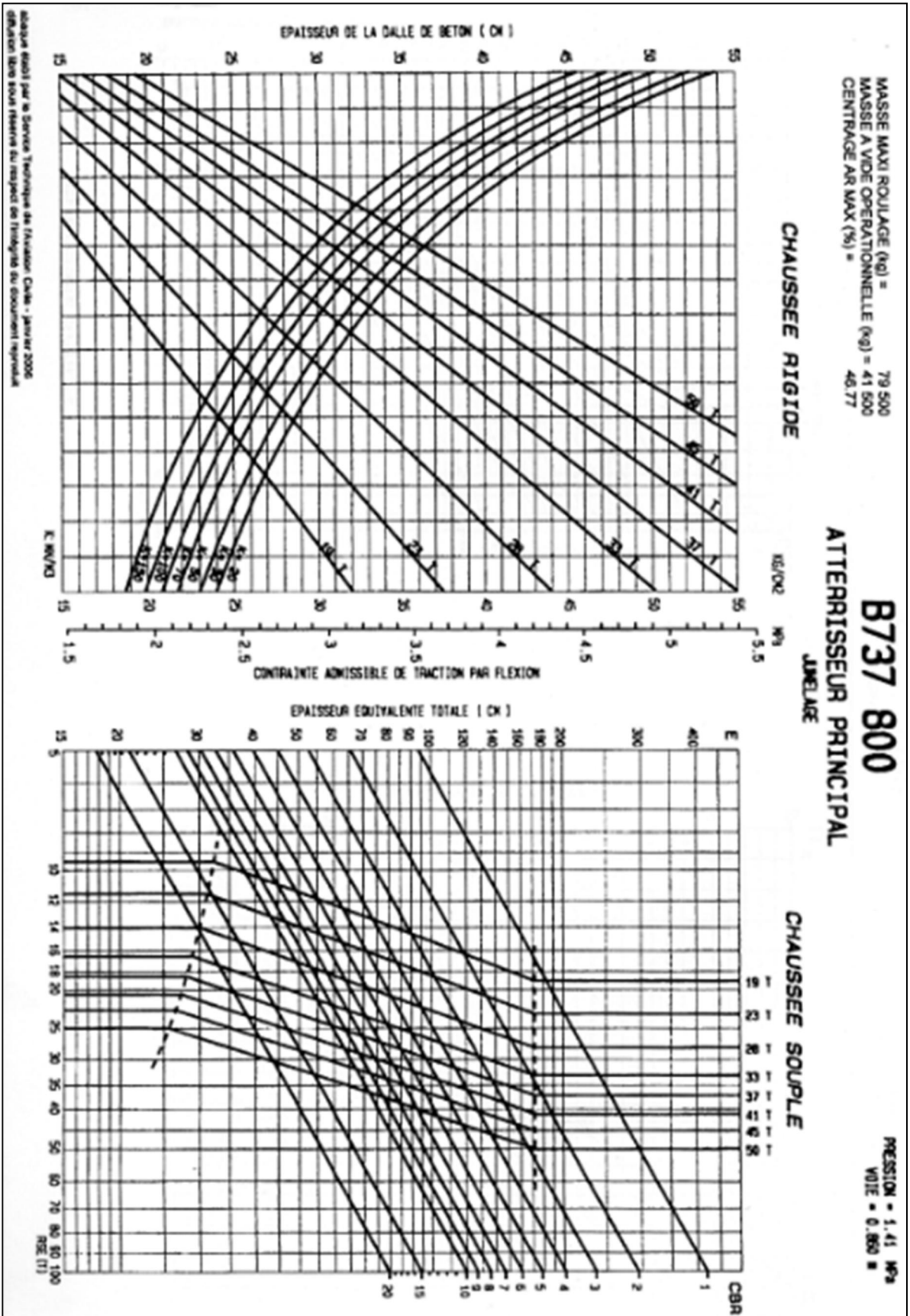
Abaque de dimensionnement du B747 400



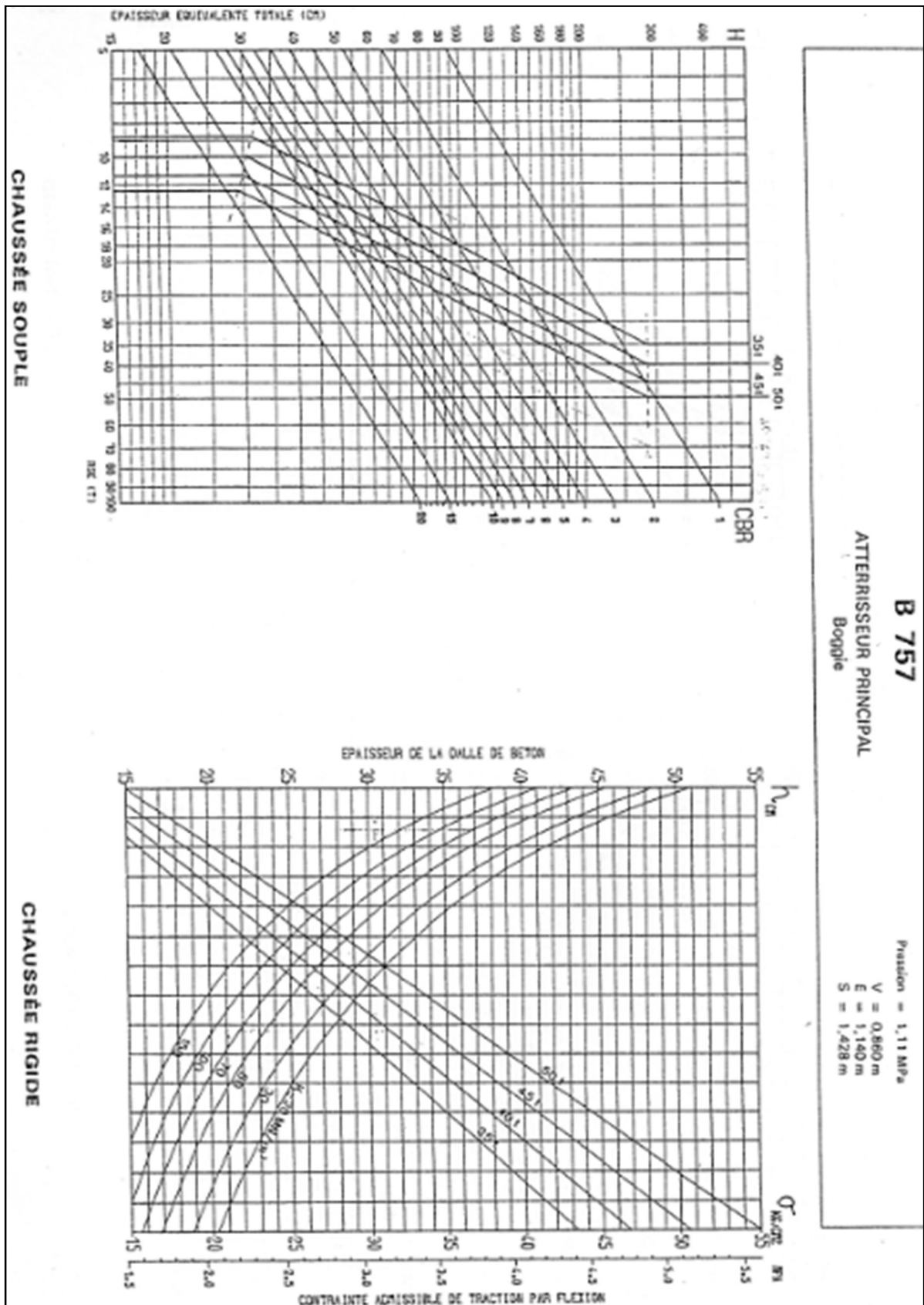
Abaque de dimensionnement du B707



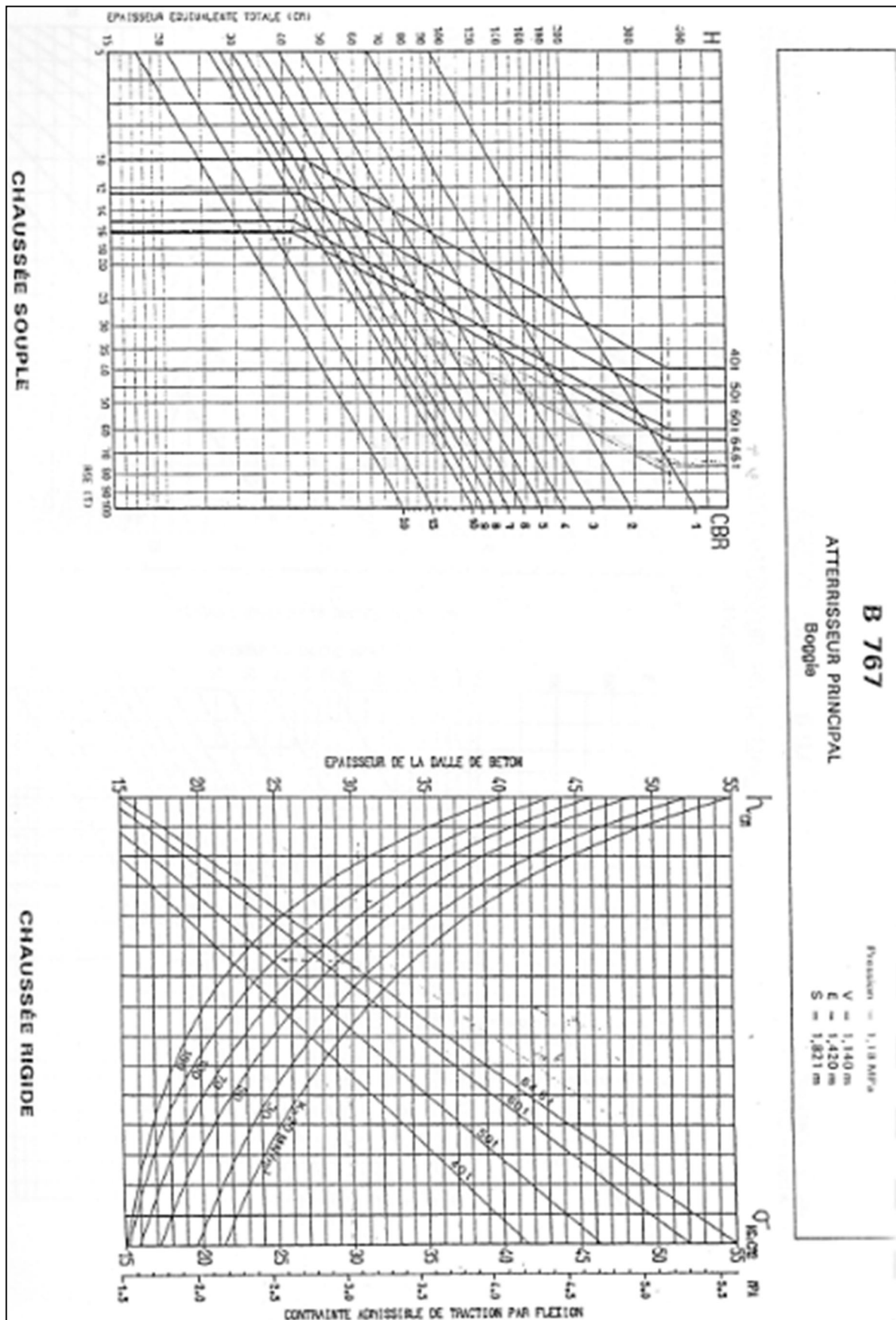
Abaque de dimensionnement du B737 800



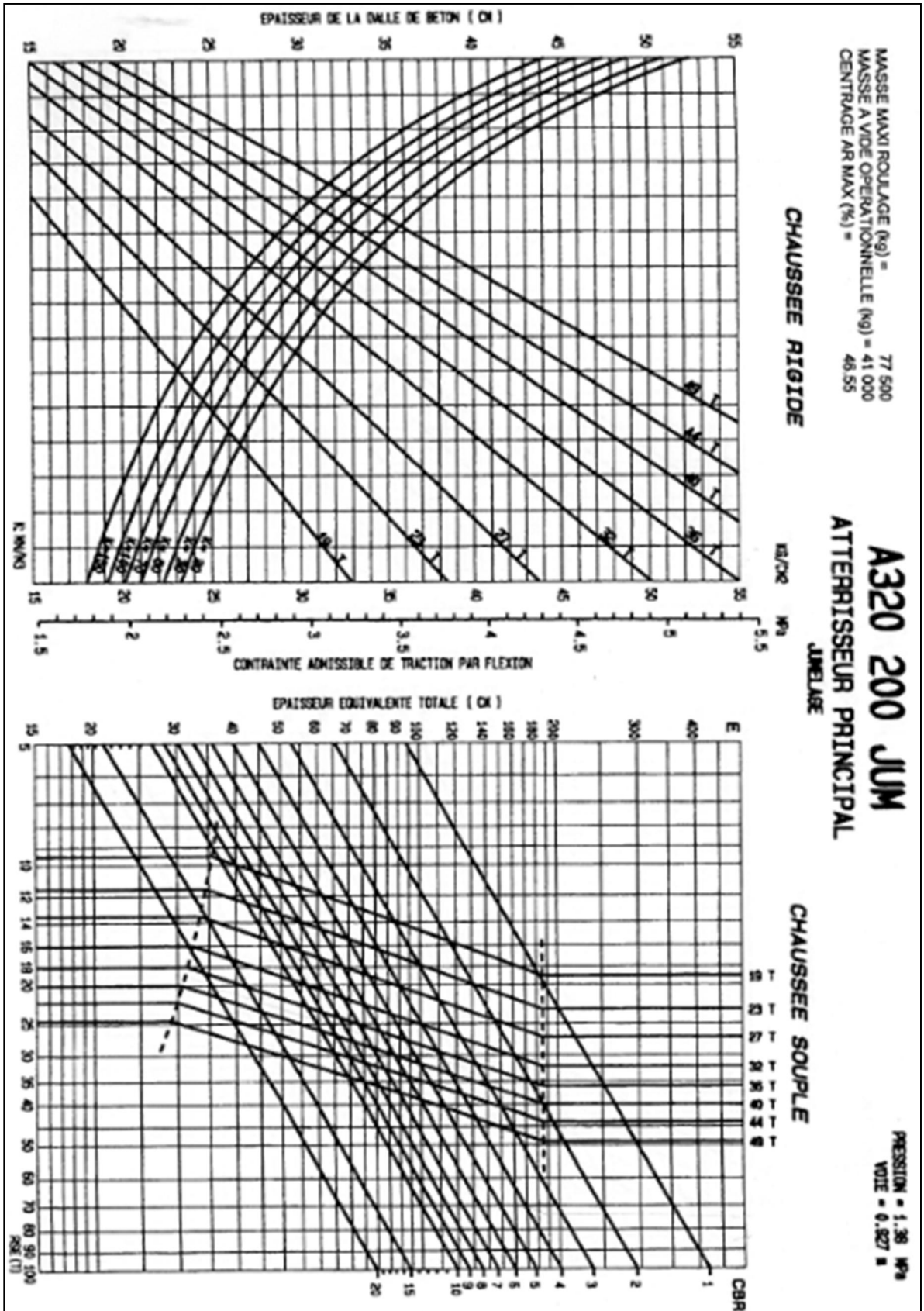
Abaque de dimensionnement du 757



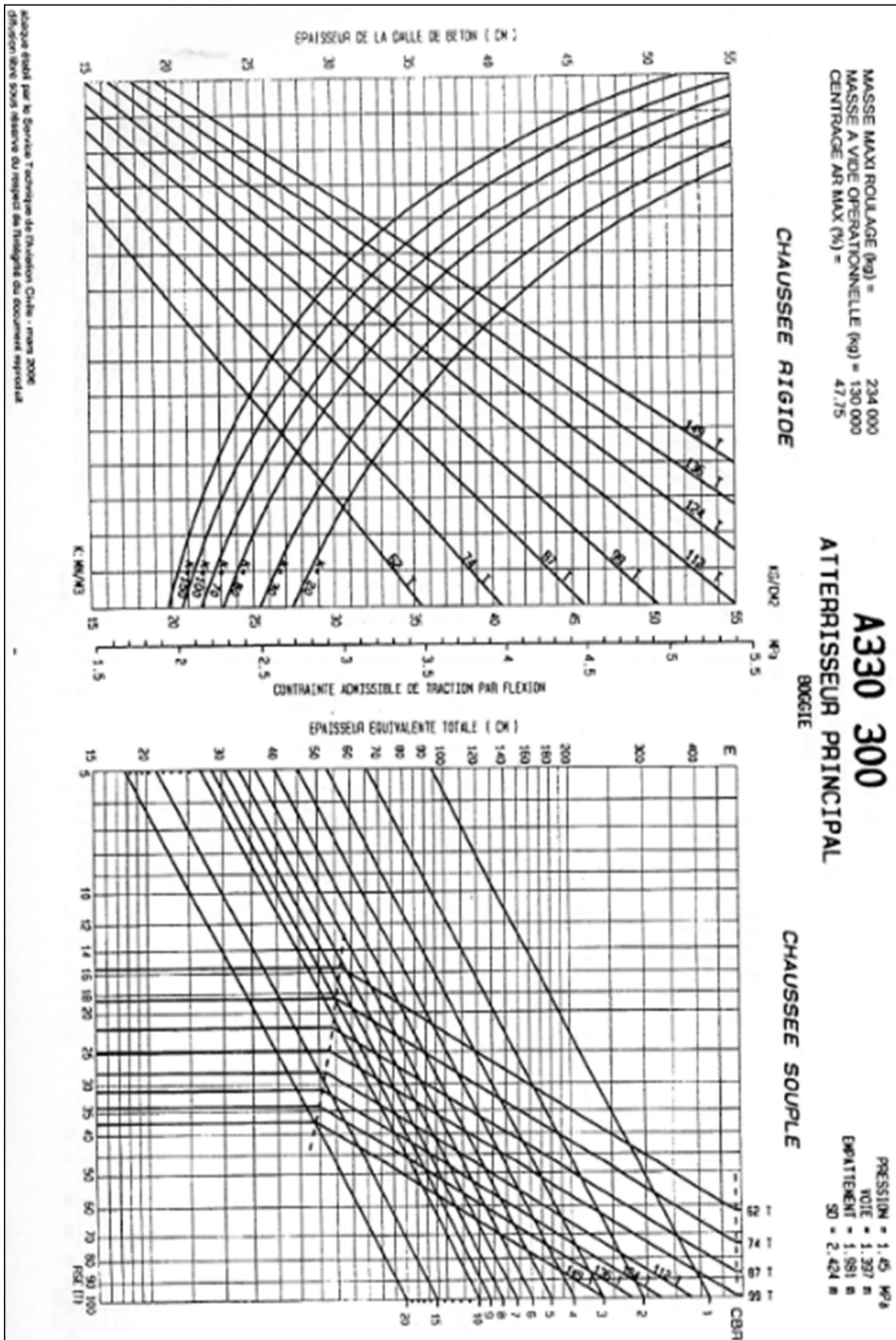
Abaque de dimensionnements du 767



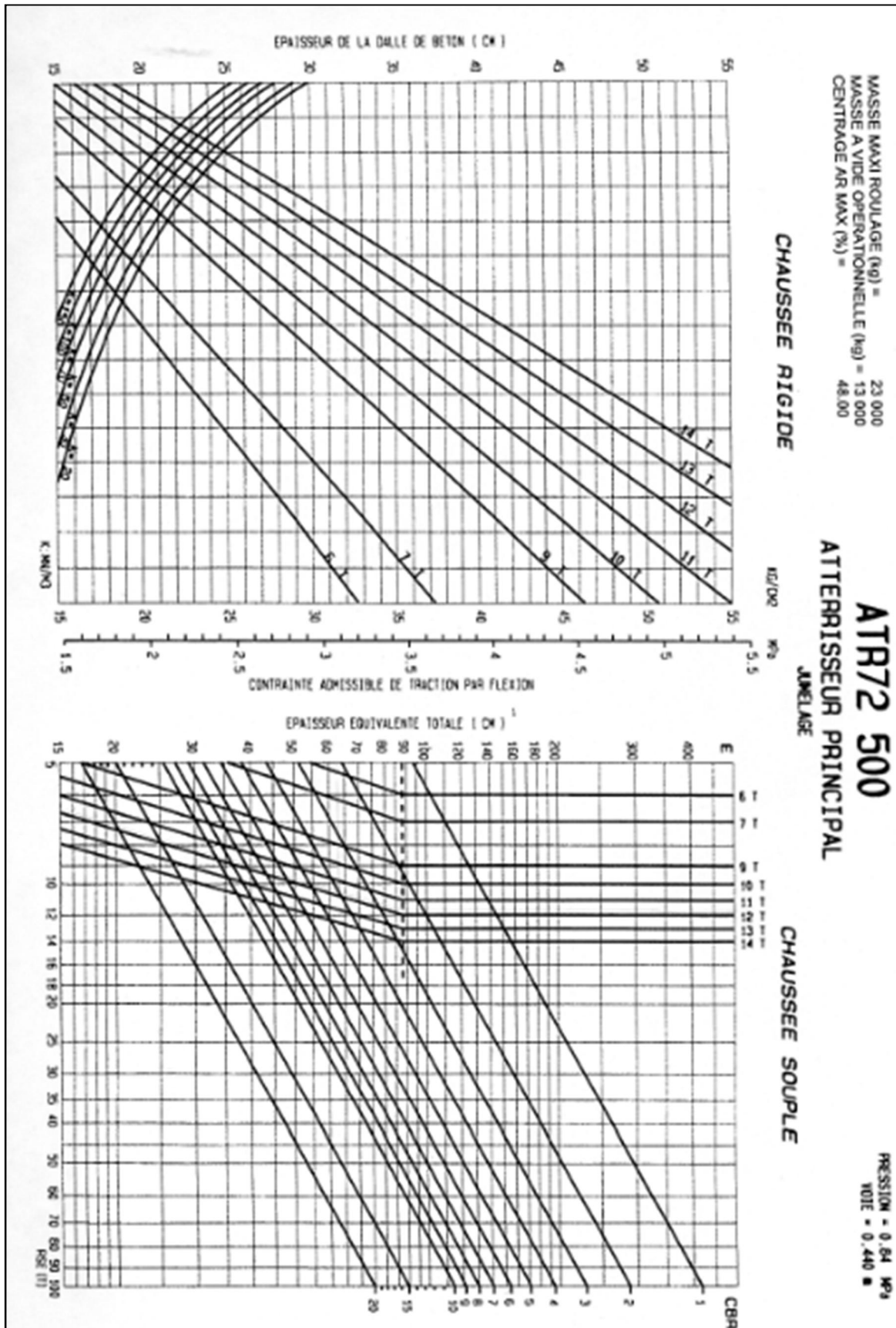
Abaque de dimensionnements de l'A320 200



Abaque de dimensionnements de l'A330 300



Abaque de dimensionnements de l'ATR72 500



Structure des chaussées avant renforcement**Piste principale et ces annexes**

Infrastructures		Structure de chaussée
Piste principale	Structure mixte sur dalle en béton précontraint PK 0- PK 2428	08 cm du béton bitumineux 14 cm de grave bitume 18 cm de dalle précontrainte
	Structure mixte sur dalle de béton de ciment PK 2428- PK 3500	08 cm du béton bitumineux 15 cm de grave bitume 37 cm de dalle de ciment
Taxiway 05/23	Structure mixte sur dalle de béton de ciment PK 0- PK 265	08 cm du béton bitumineux 14 cm de grave bitume 30 cm de dalle de ciment
	Structure mixte sur dalle en béton précontraint PK 265- PK 2315	08 cm du béton bitumineux 14 cm de grave bitume 18 cm de dalle précontrainte
	Structure mixte sur dalle de béton de ciment PK 2315- PK 3500	08 cm du béton bitumineux 15 cm de grave bitume 37 cm de dalle de ciment
Glam 01	Structure souple	30 cm du béton bitumineux 20 cm de grave naturelle
	Structure rigide	20 cm de dalle de ciment 70 cm de grave naturelle
Glam 02	Structure mixte sur dalle de béton de ciment	05 à 10 cm de béton bitumineux 30 cm de dalle de ciment 15 à 85 cm de grave naturelle
Bretelles B1, B2 et B3	Structure mixte sur dalle précontrainte	8 cm du béton bitumineux 18 Graves bitumes 16 cm de dalle précontrainte
Bretelle C2	Structure mixte sur dalle précontrainte	10 cm du béton bitumineux 18 cm de dalle précontrainte 30 cm de grave naturelle
Bretelle C4	Structure souple	10 cm du béton bitumineux 20cm de cailloux
Bretelle D3	Structure souple	10 cm du béton bitumineux 14 cm de grave bitume 40 cm de grave concassée 50 cm de couche de forme 10 cm de couche drainante

Bretelle E3	Structure mixte sur dalle de béton de ciment	10 cm de béton bitumineux 30 cm de dalle de ciment 20 cm de grave naturelle
--------------------	--	---

Piste secondaire et ces annexes

	Infrastructures	Structure de chaussée
Piste secondaire	PM 0 au PM 550m (section neuve réalisée en 1988)	35cm de Béton de ciment 20cm de grave ciment 10cm de grave non traitée 50cm TVO
	PM 550m au PM 1150m (section neuve réalisée en 1988) [existence d'oued Boutrik] (PM 640m au PM 1060m)	15cm de béton bitumineux 25cm de grave bitume 25cm de grave ciment 50cm TVO
	SGV3 (partie souple)	
	PM 1150m au PM 3500m (section existante renforcé en 1988) [existence d'oued Saïd] (PM 2650m au PM 2890m)	8cm de béton bitumineux 15cm de grave bitume 15 à 20cm de grave ciment 16 cm Béton précontraint 30cm de TVO
	Les accotements	6cm de béton bitumineux 12cm de grave ciment 15cm de grave non traitée 50cm TVO
Taxiway 09/27	Partie rigide	35cm de Béton de ciment 20cm de grave ciment 10cm de grave non traitée 50cm TVO
	Partie souple	15cm de béton bitumineux 25cm de grave bitume 25cm de grave ciment 50cm TVO
Annexes	Bretelle de l'X	8cm de béton bitumineux 12cm de grave bitume
	Parking national	30cm de Béton de ciment 25cm de grave ciment