



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTE DE : TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : AHMED YAHIAOUI Wahiba

DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : TRAVAUX PUBLICS

OPTION : VOIES ET OUVRAGES D'ART

Thème

**Rénovation de la piste d'atterrissage de l'aérodrome Moulay
Ahmed Medeghri Laghouat**

Le cas de l'utilisation des plaques en béton non armé goujonnées.

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. A.ZIREGUE.	MCB	Président
Mr.M.BEDRINA.	Pr	Examineur
Mme F.BOULAGHMANE.	M.A.A	Rapporteur

Promotion : juin - 2018

عنوان المذكرة: تجديد مدرج مطار مولاي أحمد مدغري بالأغواط: حالة استخدام الألواح الخرسانية الغير مسلحة ومدعمة بأوتاد.

المؤطر: فريدة بولغمان

الإسم: وهيبه

اللقب: أحمد يحيوي

ملخص: يظهر مدرج المطار علامات تعب وحالات تدهور متعددة حسب الحركة الجوية والظروف البيئية. من أجل ضمان النشاط الجوي وتلبية الاحتياجات الاقتصادية والعملياتية، يجب أن يتم صيانة أرضيات الطيران بشكل منتظم.

يحتوي مطار مولاي أحمد مدغري بالأغواط على مدرج هبوط من ألواح خرسانية قصيرة غير مسلحة ومدعمة بأوتاد، يشهد هذا الأخير وضعية تدهور كبيرة. تعتمد هذه الدراسة على تبيين حالات التدهور التي تهدد المدارج الصلبة بشكل عام، ويهدف إلى تشخيص جميع الأسباب المحتملة لتدهور التصدعات وتقديم الحلول التقنية لإصلاح وتعزيز المدارج الصلبة، وخاصة المدرج الرئيسي لمطار الأغواط.

كلمات مفتاحية: مطار، مدرج صلب، تدهور، إصلاح، خرسانة، أوتاد.

Memory title : Renovation of the runway of Moulay Ahmed Medeghri Laghouat airfield: The case of the use of jointed reinforced concrete pavement with dowels.

Name : AHMED YAHIAOUI

First name : Wahiba

Directed by : Farida BOULEGHMANE

Abstract : An airfield's runway shows signs of fatigue and multiple states of degradation depending on air traffic and environmental conditions. In order to ensure the aerial activity and meet the economic and operational requirements, the maintenance of aeronautical pavements must be carried out regularly.

The airfield Molay Ahmed Medaghri in Laghouat has a jointed reinforced concrete pavement with dowels, which shows significant deterioration conditions. This study is based on the degradations that threaten rigid pavements in general, and aims to diagnose all the probable causes of cracks and to present the technical solutions for the repair and reinforcement of rigid pavements, in particular the main runway of Laghouat's airfield.

Key words: Airfield, rigid pavement, degradation, reinforcement, concrete, dowels.

Titre du mémoire : Rénovation de la piste d'atterrissage de l'aérodrome Moulay Ahmed Medeghri Laghouat : Le cas de l'utilisation des plaques en béton non armé goujonnées.

Nom: AHMED YAHIAOUI

Prénom : Wahiba

Encadreur: BOULEGHMANE Farida

Résumé : Une piste d'envol d'un aérodrome montre des signes de fatigue et des états de dégradations multiples en fonction du trafic aérien et des conditions environnementales. Afin d'assurer l'activité aérienne et répondre aux exigences économiques et opérationnelles, l'entretien des chaussées aéronautiques doit être effectué régulièrement.

L'aérodrome Molay Ahmed Medaghri de Laghouat dispose d'une piste à dalles courtes en béton non armé avec goujons, qui montre des états de dégradations importantes. Cette étude est basée sur les dégradations qui menacent les chaussées rigides en général, et ayant pour but de diagnostiquer toutes les causes probables des fissures et de présenter les solutions techniques pour la réparation et le renforcement des chaussées rigides notamment la piste principale de l'aérodrome de Laghouat.

Mots clés : Aérodrome, chaussée rigide, dégradation, renforcement, béton, goujons.

Remerciements

Tout notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que nous remercions notre promoteur M^{me} BOULAGHMANE FARIDA à sa sollicitude pour lequel la préparation dans un délai relativement restreint du présent ouvrage sera pas possible.

Nous saisissons également cette opportunité pour remercier le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie également l'ensemble des enseignants ainsi que les bibliothécaires de l'université de AMAR THELIDJI, qui ont contribué à notre formation.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce projet ainsi « Mr BOUHABEL Abderezak Halim, Mr BOUHABEL Maamar, Mr SID ALI FARID et M^{me} LABGAJA NACIRA » et l'équipe de la « S.A.E.T.I » et « L.T.P.S. Laghout »

Enfin, nous ne voudrions pas terminer sans remercier également ceux, les plus sincères, adresses à tout le personnel du département de génie civil.

DÉDICACES

*Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que
je dédie à mes parents pour leurs amours, leurs soutiens et leurs confiances.
Rien n'aurait été possible sans eux.*

*Une deuxième personne qui a partagé ce travail avec moi dans les bons et mauvais
moments ; à mon marié HALIM*

*A mes plus belles étoiles qui puissent exister dans l'univers ; mes enfants
ABDERAHMANE, IBRAHIM, YASMINE et MOHAMED.*

*A ceux que j'aime et je respecte :
Mes deux frères et ces familles, A mes chères sœurs et ces familles
A toute ma grande famille.*

*A toute la promotion VO A
A tous ceux que j'ai oubliés qui m'a apporté d'aide et soutien durant cette année de
formation.*

Merci à tous.

*AHMED YAHIAOUI (BOUHABEL)
WAHIBA*

Table des matières

Table des matières	I
Liste des tableaux	IV
Liste des figures	V
Liste des acronymes	VII
Introduction générale.....	1
Partie Théorique	2
CHAPITRE 1 : Etude bibliographique sur les chaussées aéronautiques	3
1. Généralités et définitions	4
2. Historique des aérodromes et des chaussées aéronautiques	4
2.1. Les aérodromes dans le monde	6
2.2. Les aérodromes en Algérie	6
2.3. L'aérodrome de Laghouat.....	8
3. Présentation introductive d'un aérodrome.....	9
3.1. Terminologie.....	9
3.2. Généralités sur les pistes	10
3.2.1. Définition d'une piste.....	10
3.2.2. Structure de la piste	11
3.2.3. Marquage.....	12
3.2.4. Balise	14
3.2.5. Orientation et disposition des pistes.....	15
3.2.6. Numéros de piste	15
3.2.7. Voie de circulation	16
4. Conception des chaussées aéronautique	16
4.1. Les différents types de structures de chaussées	17
4.1.1. Chaussées souples	17
4.1.2. Chaussées rigides	20
4.2. Choix du type de chaussées	21
4.2.1. Chaussée rigide	22
4.2.2. Chaussée souple	22
5. Conclusion	23
Chapitre 2 : Description de l'aérodrome et l'état de dégradation de la chaussée	24
1. Introduction	25
2. Présentation du projet	25
2.1. Localisation.....	25
2.2. Historique de l'aérodrome	26

2.3. Présentation de l'aérodrome.....	26
2.3.1. Données générales.....	26
2.3.2. Environnement de l'aérodrome et climatologie.....	26
2.3.3. Description de l'aérodrome de Laghouat.....	27
2.3.4. Sismicité.....	28
2.3.5. Plan de masse.....	28
3. Suivi et auscultation des chaussées aéronautique.....	28
3.1. Suivi des chaussées aéronautiques.....	28
3.1.1. Processus de détérioration des chaussées.....	29
3.1.2. Nécessité d'un suivi.....	30
3.2. Inspection visuelle des chaussées aéronautiques.....	31
3.2.1. La méthode de l'indice de service.....	31
3.2.2. Le relevé de dégradations.....	33
4. Dégradation des chaussées.....	34
4.1. Les dégradations les plus rencontrées.....	34
4.1.1. Dégradations structurelles.....	35
4.1.2. Dégradations superficielles.....	35
4.2. Types de dégradations et facteurs influant sur les chaussées rigides.....	35
4.2.1. Types de dégradations.....	35
4.2.2. Facteurs influant sur les dégradations des chaussées.....	40
4.3. Etat de la chaussée rigide (piste principale 16L/34R).....	43
4.4. Causes des dégradations de la piste principale.....	43
5. Solutions attribuées.....	44
Partie Pratique.....	45
CHAPITRE 3 : Etude géotechnique et dimensionnement de la chaussée.....	46
1. Introduction.....	47
2. But de l'étude géotechnique.....	47
3. Auscultation et reconnaissance géotechnique.....	47
3.1. Auscultation visuelle de l'état de surface de la piste 16L/34R.....	47
3.2. Reconnaissance géotechnique.....	48
3.2.1. Campagne de carottage sur chaussée.....	49
3.2.2. Essais de laboratoire sur les dalles en béton et sur la couche bitumineuse.....	50
3.2.3. Essai de plaque.....	52
4. Dimensionnement de la chaussée.....	55
4.1. Dimensionnement de corps de chaussée.....	56
4.1.1. Couche de roulement.....	56
4.1.2. Couche de fondation.....	57

4.2. Balisage non lumineux.....	58
4.2.1. Marques et identification de piste	58
4.2.2. Marques de seuil.....	58
4.2.3. Marquage d'axe de piste	58
4.2.4. Marques de point cible	58
4.2.5. Marques de zone de poser des roues	59
4.3. Devis quantitatif et estimatif (mètres).....	59
4.3.1. Calcul des surfaces	60
4.3.2. Calcul des quantités de la chaussée.....	60
4.3.3. Marquage de la chaussée (Piste principale 16L / 34R)	60
CHAPITRE 4 : Solutions de réparation de la chaussée	62
1.introduction.....	63
2. Dispositions constructives propres aux chaussées en béton.....	63
2.1. Calepinage.....	63
2.1.1. Les dimensions et la forme des dalles non armées.....	63
2.1.2. Calepinage - Règles pratiques	64
2.2. Joints de retrait	65
2.2.1 Joints transversaux	65
2.2.2. Joints longitudinaux	72
2.3. Joints de construction.....	73
2.3.1. Joints transversaux	73
2.3.2. Joints longitudinaux	75
2.4. Joints de dilatation	77
3. Particularités des revêtements aéroportuaires.....	79
4.Établissement des solutions de réparation de la chaussée	79
4.1. Les solutions et traitements appliqués	83
4.1.1. Epaufrure	83
4.1.2. Joint transversal, longitudinal et de rive entre la chaussée et l'accotement	84
4.1.3. Fissures transversales et longitudinales fines	84
4.1.4. Remplacement de dalles défectueuses ou parties de dalles.....	85
4.2. Règles et recommandations à respecter	90
Conclusion.....	91
Bibliographie.....	92

Liste des tableaux

Tableau 1 : Largeur de piste en fonction du nombre de bandes du seuil.....	13
Tableau 2 : Comparaison entre chaussée souple et rigide.	22
Tableau 3 : Indice de service.	33
Tableau 4 : L'essai de traction par fendage des (09) éprouvettes cylindriques.	51
Tableau 5 : Caractéristique de la couche bitumineuse.....	52
Tableau 6 : Marques de zone de poser des roues.....	59
Tableau 7 : Caractéristiques des goujons utilisés dans notre projet.....	67
Tableau 8 : Joint de retrait - Dimensions du réservoir pour un mastic coulé en place.	72

Liste des figures

Figure 1 : Vue aérienne de l'aérodrome de Toulouse-Franczal en 1940.	5
Figure 2 : Nombre d'aérodromes par pays.	6
Figure 3 : Maison-Blanche en 1928.	7
Figure 4 : Aérodrome de Laghouat en 1954.	8
Figure 5 : Image satellite de l'Aérodrome de Laghouat.	8
Figure 6 : Numéro de piste.	12
Figure 7 : Seuil de piste.	13
Figure 8 : Boeing 757 à l'atterrissage.	14
Figure 9 : Balises lumineuses d'une piste d'atterrissage.	14
Figure 10 : Orientation de la piste d'atterrissage.	15
Figure 11 : les voies de circulation d'un aérodrome.	16
Figure 12 : Constitution d'une structure de chaussée.	17
Figure 13 : Représentation schématique des couches.	17
Figure 14 : Corps de chaussées souple.	18
Figure 15 : Corps de chaussées rigide.	20
Figure 16 : Localisation de l'aéroport de Laghouat.	25
Figure 17 : Composition de l'aérodrome de Laghouat.	27
Figure 18 : Carte de zonage sismique de l'Algérie.	28
Figure 19 : Plan de masse de l'aérodrome de Laghouat.	28
Figure 20 : (1), (2) et (3) Dégradation de même type à différents degrés de gravité.	30
Figure 21 : Exemple de chaussée totalement dégradée.	30
Figure 22 : Relevé visuel des dégradations.	31
Figure 23 : (1), (2) et (3) fissure à différents degrés de gravité.	36
Figure 24 : (1), (2) et (3) fissure longitudinale à différents degrés de gravité.	36
Figure 25 : (1), (2) et (3) fissure oblique à différents degrés de gravité.	37
Figure 26 : (1), (2) et (3) Cassure d'angle à différents degrés de gravité.	37
Figure 27 : (1), (2) Fissures en « Balles » de même type à différents degrés de gravité.	38
Figure 28 : (1), (2) Épaufrure à différents degrés de gravité.	38
Figure 29 : (1), (2) Décalage de joint à différents degrés de gravité.	39
Figure 30 : Flambement.	39
Figure 31 : Ecaillage.	39
Figure 32 : (1), (2) nid de poule à différents degrés de gravité.	40
Figure 33 : Rejet de pompage.	40
Figure 34 : Les dégradations enregistrées sur la piste principale.	43
Figure 35 : schéma détaillé du relevé de dégradation.	47
Figure 36 : Dégradations relevées visuellement (la piste principale 16L/34R).	48
Figure 37 : Carotte découpée en échantillons.	49
Figure 38 : Cette carotte montre que la fissure est superficielle (environ 06cm).	50
Figure 39 : Répartition de tension dans l'échantillon.	50
Figure 40 : Echantillon sous la presse.	50
Figure 41 : Essai à la plaque.	53
Figure 42 : Poutre BENKELMAN.	53
Figure 43 : Epaisseur de la dalle.	57
Figure 44 : Chaussée rigide.	57
Figure 45 : différents types de joints.	65
Figure 46 : Étapes de la création d'un joint.	66
Figure 47 : Panier à goujons fixé sur la fondation.	67

Figure 48 : Sciage de l'amorce de fissuration.....	67
Figure 49 : Fissuration sous l'amorce sciée.....	68
Figure 50 : Chanfreinage du logement du produit d'étanchéité.....	68
Figure 51 : Produits d'étanchéité (la piste principale 16L/34R).....	69
Figure 52 : Pose du fond de joint (la piste principale 16L/34R).....	69
Figure 53 : Le fondeur à bain d'huile utilisé pour le garnissage des joints.....	69
Figure 54 : Panier à goujon.....	70
Figure 55 : Exemple de goujons protégés de la corrosion par un film de bitume (à gauche) et un film de PVC (à droite).....	71
Figure 56 : Réservoir du produit d'étanchéité.....	71
Figure 57 : Joint de retrait longitudinal.....	73
Figure 58 : Réalisation d'un joint de construction.....	73
Figure 59 : Joint de construction avec goujon.....	74
Figure 60 : Béton réalisé à la main sur la piste principale.....	75
Figure 61 : Joint de construction longitudinal.....	76
Figure 62 : Joint de dilatation transversal goujonné.....	77
Figure 63 : Joint transversal avec goujons utiliser au long de la piste renforcée.....	77
Figure 64 : Joint de dilatation.....	78
Figure 65 : Joints chanfreinés.....	79
Figure 66 : Fissure longitudinale parallèle à l'axe de piste.....	80
Figure 67 : Fissure transversale qui traverse toute la largeur de la dalle.....	80
Figure 68 : Cassures d'angle en coin de dalle dans la piste principale.....	81
Figure 69 : fissuration en coin de dalle dans la piste principale.....	81
Figure 70 : Joint entre dalles en mauvais état.....	82
Figure 71 : Dépôt de gomme sur le début de piste 34R.....	82
Figure 72 : Types de dégradations à réparer.....	83
Figure 73 : Les étapes de réparation d'une épaufrure.....	83
Figure 74 : Les étapes de réparation d'un joint défectueux.....	84
Figure 75 : Réparation d'une fissure fine.....	84
Figure 76 : Soins superficiels au niveau de la piste 16L/34R.....	85
Figure 77 : Démolition d'une dalle pour réparation (piste 16L/34R).....	87
Figure 78 : Une fondation en béton maigre mise en place (piste 16L/34R).....	87
Figure 79 : Remplacement des goujons (piste 16L/34R).....	88
Figure 80 : Goujons et barres d'ancrage (piste 16L/34R).....	88
Figure 81 : Nouvelle dalle couverte par une membrane plastique.....	89
Figure 82 : Une nouvelle dalle réparée (piste 16L/34R).....	89

Liste des acronymes

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

IATA : International Air Transport Association.

IS : Indices de Service.

STBA : Service Technique des Bases Aériennes.

ITAC : Instruction Techniques sur les Aérodomes Civils.

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

SETRA : Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes.

DTP : Direction des Travaux Public.

LTPS : Laboratoire des Travaux Public du Sud unité de Laghouat.

SAETI : Société Algérienne d'Etude d'Infrastructure.

MTP : Ministère Travaux Public.

EN : Européen Norme.

BB : Béton Bitumineux.

GB : Grave Bitume.

GC : Grave Concassée.

Introduction générale

En Algérie, la majorité du réseau aéronautique, construit dans la période coloniale, montre des signes manifestes de vieillissement. Aussi, l'augmentation du trafic aérien et les conditions climatiques rigoureuses rendent difficiles l'entretien et l'exploitation des chaussées aéronautiques. Effectivement, ces conditions environnementales engendrent des dégâts importants pour les chaussées aéronautiques.

Les chaussées rigides jointées ou « dalles courtes goujonnées » sont encore principalement dimensionnées avec des goujons en acier placés au droit des joints. Un des rôles de ces structures est de contrôler la fissuration due aux conditions thermiques et environnementales. L'aérodrome Molay Ahmed Medaghri de Laghouat a été choisi dans ce travail vu qu'il constitue un cas d'étude idéale pour les chaussées rigides à dalle courte non armée avec goujons.

Cette étude est basée sur les dégradations qui menacent les chaussées rigides en général, et ayant pour but de diagnostiquer toutes les causes probables de ces fissures et de proposer des solutions techniques de réhabilitations afin d'assurer le confort et la sécurité des usagers.

Pour ce faire, ce travail se compose de quatre chapitres :

Le premier chapitre contient une étude bibliographique sur les chaussées aéronautiques, commençant par un historique sur l'apparition des infrastructures aéroportuaires dans le monde et en Algérie. Il traite également la constitution des pistes d'aérodromes tout en montrant les critères et les normes à respecter, ensuite il regroupe la constitution et les types de structures de chaussées avant de citer à la fin les paramètres pris en compte pour un meilleur choix de type de chaussée.

Le deuxième chapitre consiste à définir les types de dégradations les plus rencontrées dans les chaussées rigides notamment celles présentes dans notre aérodrome, l'évaluation de ces derniers repose sur les relevés visuels qui permettent de diagnostiquer les causes des dégradations apparentes et de cibler les solutions de réparation les plus appropriées.

Le troisième chapitre reprend l'étude géotechnique pour avoir une bonne connaissance des terrains traversés et de l'infrastructure existante avant d'entamer les travaux de réhabilitation de la piste principale 16L/34R.

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude et le suivi des travaux de renforcement selon les solutions de réparation établies.

Partie Théorique

CHAPITRE 1 :
Etude bibliographique sur les chaussées
aéronautiques

1. Généralités et définitions

L'avion est un outil exceptionnel ordinaire pour se déplacer dans les airs. Néanmoins, il passe le plus clair de son temps sur le sol. Au début du 20e siècle, les terrains adaptés pour recevoir les aéronefs étaient limités à quelques dizaines de mètres d'herbe ou de terre battue, d'où décollaient de fragiles assemblages de bois, de toile et de cordes à piano. [1]

L'évolution ultérieure des besoins et des exigences supplémentaires ont sollicité un développement significatif des infrastructures aéroportuaires. Ce développement est clairement apparu dans les agglomérations de milliers de personnes travaillant au voisinage de pistes bétonnées longues de plusieurs kilomètres, accueillant chaque jour des dizaines de milliers de passagers et des centaines de tonnes de fret, acheminées par des appareils pouvant dépasser une masse de 350 tonnes.

Ce chapitre contient une étude bibliographique sur les chaussées aéronautiques, commençant par un historique sur l'apparition des infrastructures aéroportuaires dans le monde et en Algérie. Il traite également la constitution des pistes d'aérodromes tout en montrant les critères et les normes à respecter, ensuite il regroupe la constitution et les types de structures de chaussées avant de citer à la fin les paramètres pris en compte pour un meilleur choix de type de chaussée.

2. Historique des aérodromes et des chaussées aéronautiques

Au début de l'aviation, il n'existait pas de piste en dur et les avions utilisaient des surfaces planes couvertes d'herbe d'où le terme de "champ d'aviation". Les avions décollaient et atterraient contre le vent.

Au cours de la Première Guerre mondiale, des milliers d'avions ont été utilisés simultanément. Dès 1914, afin d'éviter les accidents, une certaine discipline dans les procédures a été imposée, les aérodromes ont été progressivement équipés de balisages pour délimiter des pistes souvent multiples, car l'atterrissage par vent de travers était alors difficile, voire impossible.

Port-Aviation est le premier aérodrome organisé au monde, inauguré en 1909 sur le territoire de la commune de Viry-Châtillon (France) et ancêtre de l'aéroport Paris-Orly. [2]

Il a fallu attendre la fin des années 30 pour qu'apparussent les premières pistes revêtues sur les aérodromes terrestres européens. Durant cette période de grands espoirs furent fondés sur

l'utilisation aéronautique des plans d'eau. Ces perspectives cessèrent toutefois d'avoir cours dès la fin de la guerre.

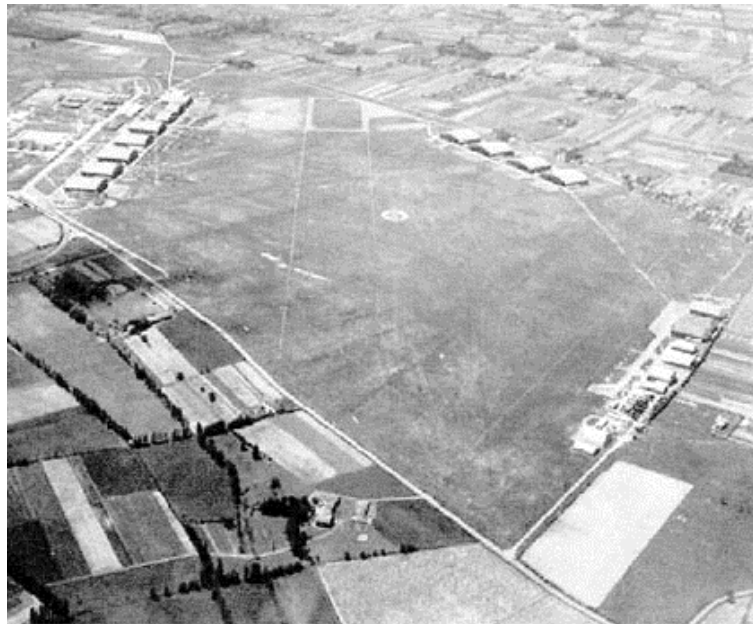


Figure 1 : Vue aérienne de l'aérodrome de Toulouse-Franczal en 1940.

Durant la guerre et en absence d'une piste aménagée, les avions "s'enlevaient" et atterrissaient sensiblement face au vent sur une aire polygonale engazonnée (voir figure 1), et ce, selon l'axe matérialisé par un cercle d'atterrissage et la direction indiquée par son « T » d'atterrissage, disposé lui-même sur une aire à signaux.

L'aire d'envol et d'atterrissage était délimitée par des marques au sol comme le sont aujourd'hui les pistes non revêtues. [3]

Les premières chaussées aéronautiques en béton ont été construites en France à l'initiative :

- De l'Allemagne lors de la Deuxième Guerre mondiale (entre 1939 et 1944) ;
- Des Etats-Unis (entre 1950 et 1955). [4]

Entre les années 1960 et 1970, le béton de ciment était considéré comme une technique de pointe pour l'accueil du trafic aérien. La majorité des chaussées des aérodromes était conçue avec ce matériau (en particulier Orly et Roissy-Charles de Gaulle, mais également des plates-formes plus modestes telles que Nîmes ou Landivisiau). Cependant, cette technique a subi des détériorations considérables en rapport avec :

- Les dégradations inhérentes à la technique californienne des années 60 (absence de drainage, de fondation non érodable ou de transferts de charge efficaces...) ;
- Les difficultés de réparer sous trafic (fermeture trop longue des aires concernées) ;
- Le contexte économique plus favorable aux chaussées souples.

La construction de pistes ou voies de circulation neuves étant devenue exceptionnelle, le béton est néanmoins utilisé de façon importante pour la construction des aires de stationnement des avions dont les charges ne cessent de croître. A la résistance au poinçonnement, il faut ajouter des propriétés naturels anti-kérosène qui en font un matériau polyvalent dont la pérennité est garantie.

Sur les aérodromes militaires, l'utilisation du béton pour la construction des seuils de piste reste également systématique compte tenu de sa bonne résistance aux flux de chaleur des réacteurs des avions de chasse.

Il faut noter également la réalisation du renforcement de la piste de Lorient-Lann-Bihoué en France par la technique du béton armé continu (BAC) en 1989. [5]

2.1. Les aérodromes dans le monde

La répartition des aérodromes dans le monde est très inégale. Les États-Unis en comptent en 2017, pratiquement les $\frac{2}{3}$ des aérodromes du monde (voir figure 2). Quelques pays très étendus, le Brésil (2595), le Canada (1881) et l'Australie (665) ainsi que l'Allemagne (474), la France (450) et le Venezuela (410) complètent le tableau des pays comptant un nombre élevé d'aérodromes rapportés à leur superficie et à leur population. [2]

Les États-Unis sont toujours (en 2017) le pays disposant de la flotte la plus importante d'avions légers et d'aérodromes pour les accueillir. [2]

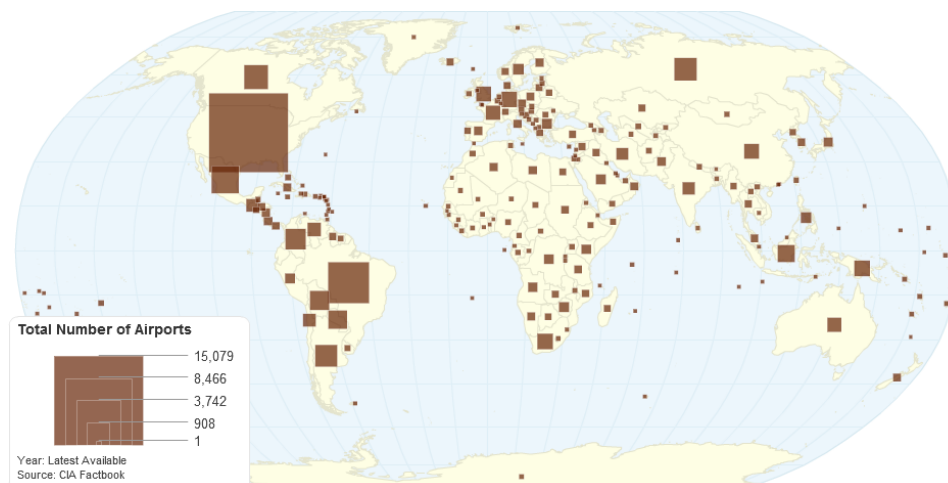


Figure 2 : Nombre d'aérodromes par pays.

2.2. Les aérodromes en Algérie

En Algérie, l'équipement répondit à des préoccupations civiles et militaires. En 1921, des bases avaient été aménagées sur l'axe Oran-Colomb Béchar, Saoura, Beni Abbès, Adrar et

Reggan. La traversée du Sahara suivit, avec des installations rudimentaires, dont la plus célèbre fut « Bidon 5 ». Les fûts d'essence une fois vidés à la pompe à bras pouvaient être remplis de sable, puis peints en rouge et en blanc pour servir de balises. À la fin de 1929, 61 terrains d'atterrissage avaient été aménagés entre Oran et Ouallen, où les aviateurs pouvaient trouver ravitaillement en eau, carburant, lubrifiant et pièces de rechange. La pénétration à partir d'Alger fut plus tardive, en raison de l'obstacle redoutable du Tanezrouft. L'axe Alger-Laghouat-Tamanrasset ne fut équipé qu'en 1933. [1]

En Algérie, le drainage et les travaux préparatoires à l'installation de l'aérodrome d'Alger-Maison-Blanche furent lancés, en vue de l'utilisation d'appareils terrestres que l'on prévoyait en 1942 ; à Oran-La Senia, la piste de décollage fut agrandie et améliorée ; à Arzew, commencèrent en 1936 les installations pour une base aéronavale proche du port militaire de Mers-el-Kébir : les fondations furent creusées pour l'installation d'une grue de 20 tonnes. Une base fut créée à Blida. Ensuite 16 aérodromes ont été créés à Mascara, Relizane, Saida, Constantine, Tiaret, Mostaganem et Ain Temouchent. [1]

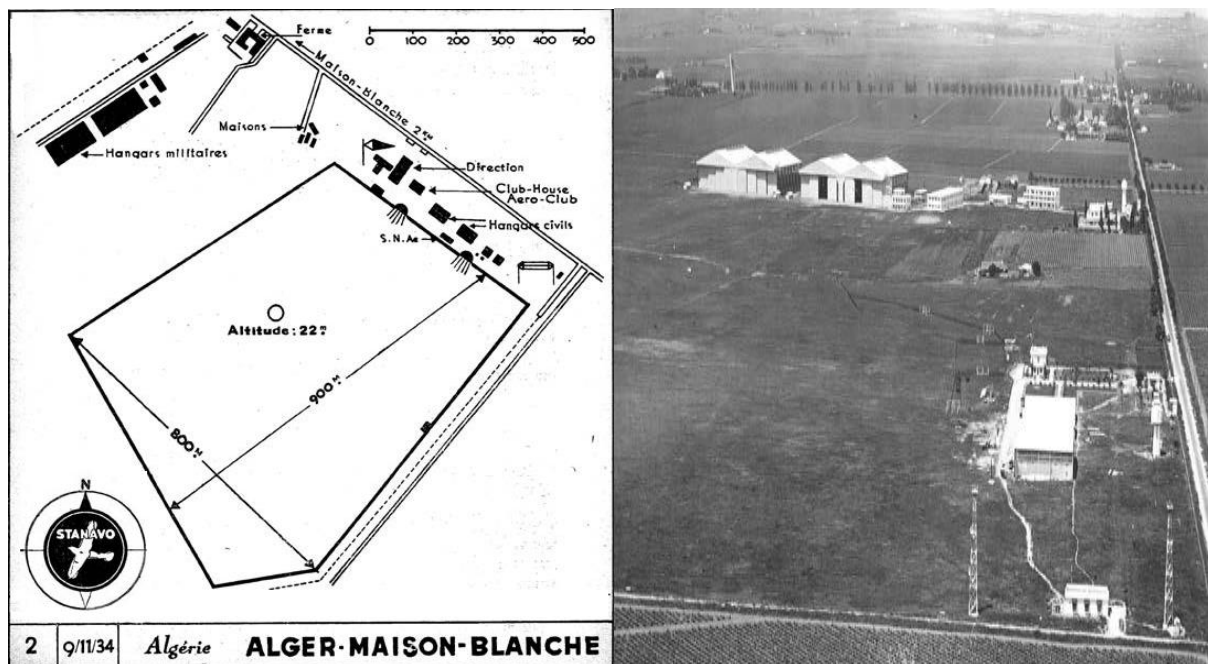


Figure 3 : Maison-Blanche en 1928.

Le lancement de la ligne transafricaine Alger-Tananarive par Air Afrique en 1934 ne fut possible qu'après la création de pistes en dur à Gao, Zinder, Fort Lamy, Fort Archambault et Bangui, l'extension et l'aménagement de la piste d'Ivato à Tananarive, le balisage et l'éclairage des terrains d'El Goléa, Gao, Fort Lamy et Ivato.

L'Algérie, avec ses Atlas élevés, ses Hauts-Plateaux ensoleillés ou balayés par les perturbations, ses côtes frappées par le vent de la mer et ses régions présahariennes arides, présente tous les contrastes géographiques et climatiques favorables au vol à voile sous toutes ses formes.

En 1936, les bâtisseurs du vol à voile ont aménagé l'infrastructure et développé l'activité depuis Oran jusqu'à Constantine. [1]

2.3. L'aérodrome de Laghouat

L'aérodrome de Laghouat a été construit durant la période coloniale. Il a été récupéré par l'Algérie en 1963 et continue à desservir Alger ainsi que les lieux saints pour le pèlerinage, puis il est transformé en un aéroport militaire ouvert à quelques vols civils. Son infrastructure a subi plusieurs travaux de renforcement et de réhabilitation, mais la dernière remonte au années 80 (entre 1982 et 1985) où une piste à structure de chaussée rigide a été construite pour faire partie d'une infrastructure importante (voir figure 5).



Figure 4 : Aérodrome de Laghouat en 1954.



Figure 5 : Image satellite de l'Aérodrome de Laghouat.

3. Présentation introductive d'un aérodrome

3.1. Terminologie

Aux fins de ce projet, on entend par :

- Le terme **aérodrome** désigne l'ensemble des surfaces au sol ou sur l'eau destinées aux mouvements des aéronefs et les infrastructures associées.
- En fonction de l'utilisation, l'aérodrome peut accueillir des infrastructures destinées au transport commercial de passagers ou à des activités militaires. On utilise alors, respectivement, les termes d'**aéroport** ou de **base aérienne**. Lorsque l'aérodrome est utilisé exclusivement pour l'une de ces activités il peut y avoir confusion entre les termes.
- Un **aéroport** est l'ensemble des bâtiments et des installations qui servent au traitement des passagers ou du fret aérien situés sur un aérodrome. Le bâtiment principal est, généralement, l'aérogare par où transitent les passagers entre les moyens de transport au sol et les avions.
- Une **base aérienne** est un aérodrome ou la partie d'un aérodrome utilisée par les forces armées d'un pays pour mettre en œuvre la composante aérienne.
- Le terme **aéroport** utilisé par les Américains désigne un aérodrome. L'équivalent d'aéroport est commercial « *airport* ».
- Le terme **aérodrome** reste utilisé dans les documents de l'OACI ainsi qu'au Canada et en Australie bien que remplacé par « *airport* » ou « *airfield* » dans le langage courant.
- Le terme **champ d'aviation** a été utilisé en français, les infrastructures des premiers aérodromes étant couvertes d'herbe. On le trouve en particulier sur les affiches et annonces des premières démonstrations aériennes.
- **Accotement** : Bande de terrain, bordant une chaussée, traitée de façon à offrir une surface de raccordement entre cette chaussée et le terrain environnant et de manière à ce qu'un aéronef sortant accidentellement de cette chaussée ne subisse pas de dommages structurels et que soient évitées les projections ou ingestions de corps étrangers par les groupes motopropulseurs.
- **Aire d'avant seuil** : Aire rectangulaire associée à l'atterrissage avec approche de précision de catégorie I, II ou III et située en amont du seuil de piste.
- **Aire de manœuvre** : Partie d'un aérodrome à utiliser pour les décollages, les atterrissages et la circulation des aéronefs à la surface et qui comprend l'aire de manœuvre et les aires de trafic.

- **Voie de circulation** : Voie définie sur un aérodrome terrestre aménagée pour la circulation à la surface des aéronefs et destinée à assurer la liaison entre différentes parties de l'aire de mouvement.
- **Chaussée** : Structure permettant la circulation en toute saison de charges, dans des conditions de confort et de sécurité suffisantes et aussi durables que possible.
- **Entretien préventif** : Travaux d'entretien programmés, entrepris de façon à prévenir toute défaillance ou détérioration des installations.
- **Piste** : Aire rectangulaire aménagée, sur un aérodrome terrestre, afin de servir au décollage et à l'atterrissage des aéronefs. Les grands côtés de ce rectangle sont appelés bords de piste, ses petits côtés extrémités de piste et son axe longitudinal, axe de piste. [6]

3.2. Généralités sur les pistes

3.2.1. Définition d'une piste

La piste est le composant majeur d'un aérodrome. C'est une surface rectangulaire adaptée et réservée au décollage et à l'atterrissage des aéroplanes à voilure fixe dont le représentant principal est l'avion. La longueur de la piste doit permettre le décollage, c'est-à-dire l'accélération jusqu'à une vitesse suffisante pour assurer l'envol, ainsi que l'atterrissage, c'est-à-dire le freinage jusqu'à la vitesse de roulage permettant d'emprunter les voies de circulation. Le revêtement de la piste est directement lié au poids des avions, les plus légers pouvant se contenter d'une surface en herbe alors que les plus lourds exigent des surfaces bétonnées.

Un aérodrome dispose souvent de plusieurs pistes adaptées à des usages différents : piste « en herbe » pour les ULM (Ultra Léger Motorisé), planeurs ou avions légers ; piste « en dur » pour les avions lourds. La piste comporte au moins un marquage définissant son axe et son orientation. Des équipements supplémentaires peuvent y être adjoints pour faciliter son utilisation de jour comme de nuit ou en fonction d'évènements climatiques. Ces équipements peuvent être obligatoires lorsqu'un aéroport est implanté sur l'aérodrome et que la piste accueille des avions de ligne.

Les constructeurs définissent une vitesse maximale de vent de travers au-delà de laquelle le décollage ou l'atterrissage de l'avion est impossible dans de bonnes conditions de sécurité. La piste principale d'un aérodrome est donc orientée en fonction du vent dominant. Une ou plusieurs pistes secondaires orientées à 90° ou à 60° (environ) de la piste principale permettent les opérations dans les autres cas. Pour des raisons de sécurité, il est nécessaire de prévoir un intervalle minimal entre deux mouvements d'avions sur une piste. Une piste a donc une capacité

d'accueil limitée. Si le trafic le justifie, c'est le cas des aérodromes où sont implantés les plus grands aéroports, il sera nécessaire de construire plusieurs pistes parallèles. Par extension on appelle « piste » la zone du pont d'un porte-avions utilisée pour l'appontage. Les projets d'astroport prévoient aussi une piste pour le retour des astronefs ; la navette spatiale américaine a utilisé des pistes d'aérodromes existantes qui ont été aménagées. [6]

3.2.2. Structure de la piste

Les dimensions (longueur et largeur), ainsi que la résistance d'une piste déterminent les modèles d'avions qui pourront y opérer. Inversement des travaux d'allongement ou de renforcement d'une piste sont nécessaires pour pouvoir accueillir des avions plus lourds.

a. Dimensions

Les pistes pour avions légers font en général de 600 à 1 000 mètres de long pour 25 à 45 mètres de large mais les plus courtes peuvent ne faire que 200 m de long et 8 m de large. Celles des grands aéroports avec un trafic d'avions de ligne « gros porteurs » font parfois jusqu'à 5 500 mètres de long pour 45 à 60 mètres de large. La plus longue piste d'atterrissage au monde fut longtemps celle de la Zone 51, d'une longueur d'environ 10 km (désaffectée). La plus longue piste est actuellement celle de l'aéroport de Qamdo Bamda en Chine qui mesure 5 500 mètres.

b. Revêtements

Les pistes utilisées par les avions les plus légers sont en herbe ou en terre battue. Des matériaux identiques à ceux utilisés pour les routes tels que l'asphalte ou le bitume permettent de construire des pistes « en dur » pour les avions plus lourds. Les pistes permettant de recevoir les avions de ligne, donc les avions les plus lourds, et à fort trafic sont construites en béton.

c. Sections de la piste

1). Bande de piste

Il s'agit de la zone autour de la piste elle-même. Elle est dépourvue de tous les obstacles qui pourraient interférer avec le vol et le roulage des avions, mais elle n'est pas forcément en bonne condition. C'est normalement juste une surface herbeuse, marquée par des cônes ou des pignons.

2). Zone anti-souffle / Prolongement d'arrêt (PA)



La zone anti-souffle est souvent construite juste avant le début de la piste, là où le souffle d'air chaud produit par les avions durant le décollage pourrait éroder le sol et endommager la piste. Cette zone peut également être conçue pour servir d'espace d'urgence en cas de problèmes durant le décollage (prolongement d'arrêt). Elle est souvent moins résistante que la piste principale et est marquée par des chevrons jaunes. Il est interdit de rouler ou de stationner sur cette zone durant le décollage ou l'atterrissage, sauf en cas d'urgence. Dans certains aéroports cette zone est faite de plaques de béton cédant sous le poids d'un avion en cas de sortie de piste ce qui permet de ralentir l'appareil tout en limitant les dégâts. [6]

3). Seuil décalé



Le seuil est en bout de piste. Il est normalement marqué par une ligne blanche (mais pas toujours pour les petites pistes). Un seuil déplacé (voir l'image) est marqué par des flèches qui mènent au seuil lui-même. Il peut être utilisé pour le roulage et le décollage, mais pas pour l'atterrissage. Cela peut être dû à trois raisons : des obstacles sont présents juste avant la piste, la résistance de la piste ou des restrictions de bruit. [6]

3.2.3. Marquage

a. Numéro de piste

Une piste est identifiée par un numéro à deux chiffres indiquant son orientation par rapport au nord magnétique en dizaines de degrés (appelé aussi QFU).



Figure 6 : Numéro de piste.

Une piste dont le QFU est 344° sera notée piste 34 (voir figure 6). Une piste dont le QFU est 345° sera notée piste 35.

La position du nord magnétique n'étant pas stable, le N° de piste peut changer au cours du temps. [6]

b. Seuil de piste

Le seuil de piste est identifié par une série de bandes rectangulaires (voir figure 7). Le nombre de bandes indique la largeur de la piste :



Largeur de piste en fonction du nombre de bandes du seuil	
Nombre de bandes	Largeur en mètres
4	18 m
6	23 m
8	30 m
12	45 m
16	60 m

Tableau 1 : Largeur de piste en fonction du nombre de bandes du seuil.



Figure 7 : Seuil de piste.

c. Point de cible



Une paire de larges bandes rectangulaires indique le point de cible sur les pistes de plus de 1500 m. L'amont de la marque coïncide avec l'indicateur de pente d'approche sur les aéroports qui en sont équipés.



Figure 8 : Boeing 757 à l'atterrissage.

d. Zone de toucher des roues



Une paire de triple, double puis simple bande rectangulaire indique la zone de toucher des roues sur les aéroports disposant d'un Instrument Landing System. [6]

3.2.4. Balise

Les pistes sont bordées de balises lumineuses pour être facilement repérables de nuit (voir figure 9), ou lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises (pluie, brouillard).



Figure 9 : Balises lumineuses d'une piste d'atterrissage.

3.2.5. Orientation et disposition des pistes

Un avion décolle (ou atterrit) quand sa vitesse de déplacement par rapport à l'air est supérieure (ou inférieure) à la vitesse de décrochage (vitesse minimale en vol stabilisé à laquelle l'avion est maîtrisable). L'idéal est donc de décoller ou atterrir avec un vent de face (voir figure 10). La piste unique ou principale d'un aérodrome est donc orientée dans la direction du vent dominant sauf si des contraintes locales, obstacle, nature du terrain, zone à survol limité... etc. deviennent prioritaires. Lorsque la vitesse du vent n'est pas alignée avec la direction de la piste, l'avion doit décoller ou atterrir avec un vent de travers dont la valeur maximale admissible est déterminée par le constructeur. [6]

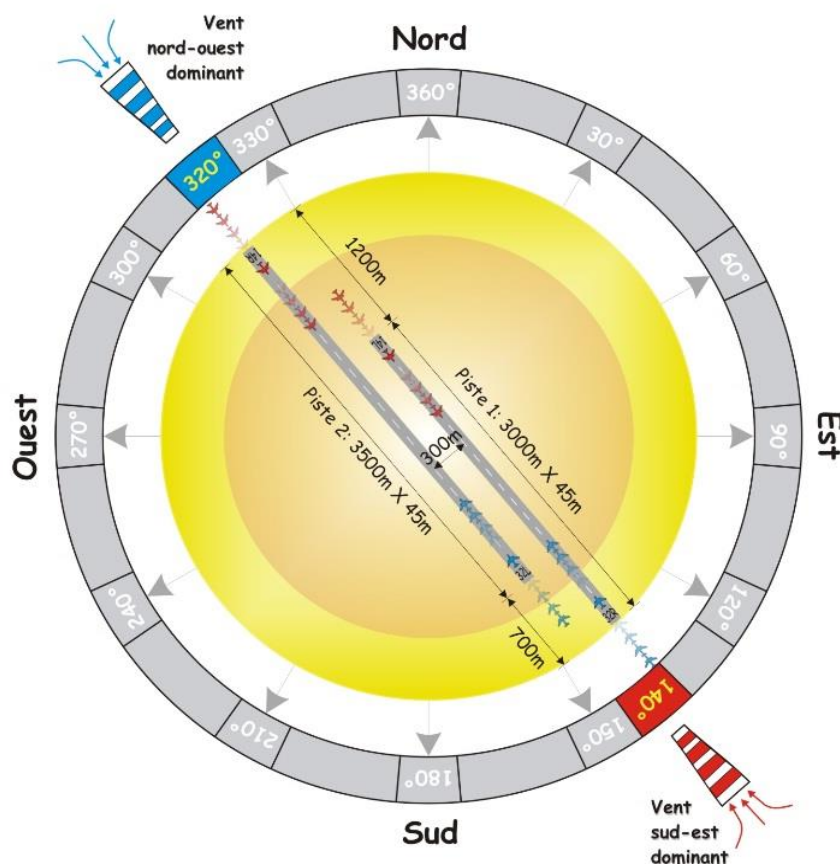


Figure 10 : Orientation de la piste d'atterrissage.

3.2.6. Numéros de piste

Une piste est numérotée à chacune de ses extrémités par un nombre de deux chiffres, inscrit pour être lu dans le sens de l'atterrissage, qui indique son orientation magnétique arrondie à la dizaine de degrés la plus proche. Les numéros vont donc de 01 à 36 et l'écart entre les numéros de chaque extrémité est toujours de 18 (180°).

Lorsqu'un aérodrome possède plusieurs pistes orientées dans la même direction, une lettre est ajoutée après le numéro : L pour *left* (piste de gauche), C pour *center* (piste du centre), R pour *right* (piste de droite). Au-delà de trois pistes parallèles la distinction est faite en affectant des numéros plus petits et plus grands au lieu de l'arrondi le plus proche. [6]

3.2.7. Voie de circulation

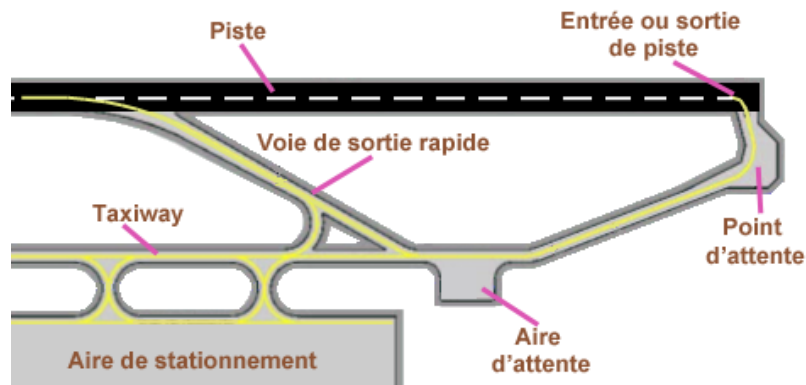


Figure 11 : les voies de circulation d'un aérodrome.

Les pistes sont reliées entre elles par des voies de circulation de différentes natures : des voies réservées aux avions d'une part (taxiway), d'autres voies réservées aux véhicules de service et de secours (pompiers). Lorsque l'aéroport est d'une dimension telle que le parcours entre les pistes et le parking nécessite de suivre un trajet précis, un véhicule spécial (dit un *taxi* ou *follow-me car*) vient précéder l'avion pour le guider. [6]

4. Conception des chaussées aéronautique

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini (voir figure 12) [7]. Tout d'abord le sol terrassé ou sol-support est surmonté généralement d'une couche de forme. L'ensemble sol support-couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée. La couche de forme a une double fonction. Pendant les travaux, elle assure la protection du sol-support, permet la qualité du nivellement ainsi que la circulation des engins. En service, elle permet d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai, et d'améliorer la portance à long terme. Puis viennent la couche de base et la couche de fondation formant ainsi les couches d'assise. Les couches d'assise apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic et répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau admissible. Enfin, la couche de surface se compose de la couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison entre la couche de roulement

et les couches d'assise. Elle a deux fonctions. D'une part, elle assure la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau. D'autre part elle confère aux usagers un confort de conduite d'autant plus satisfaisant que les caractéristiques de surface sont bonnes. [7]

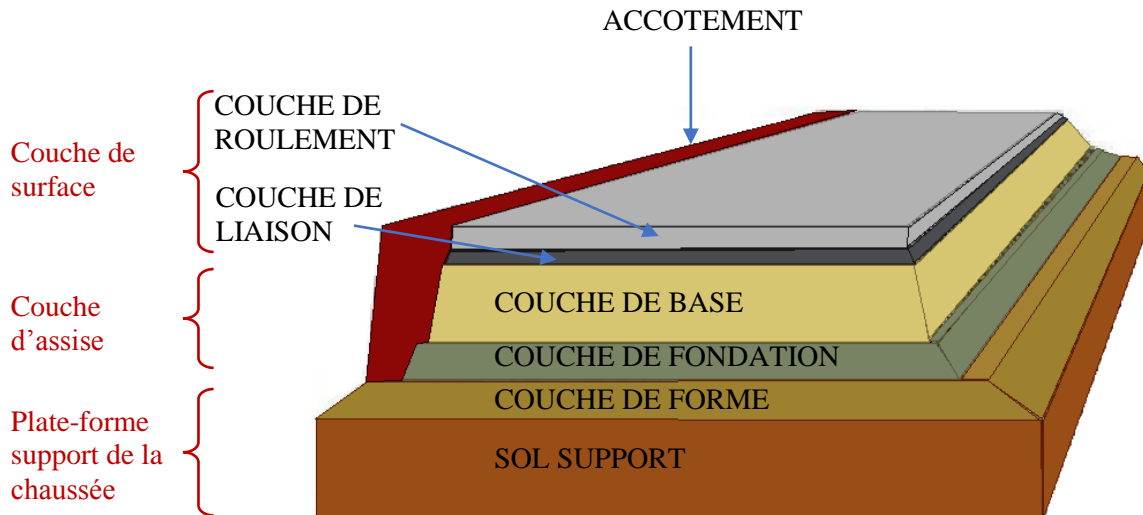


Figure 12 : Constitution d'une structure de chaussée.

4.1. Les différents types de structures de chaussées

Les chaussées aéronautiques représentent l'ensemble des aires sur lesquelles circulent, manœuvrent et stationnent des avions. On distingue trois types de chaussées : rigides, souples et mixtes. Mais les plus répandus sont les deux premiers types (voir figure 13).

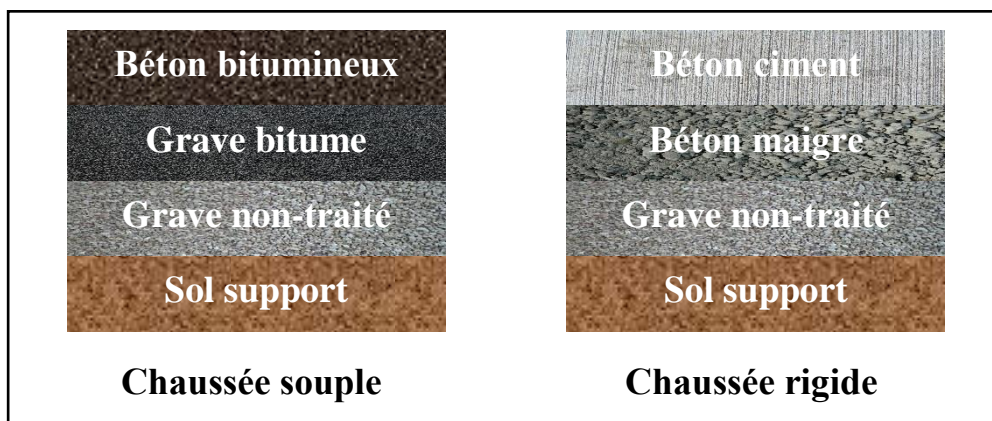


Figure 13 : Représentation schématisée des couches.

4.1.1. Chaussées souples

Les chaussées souples sont des structures constituées principalement de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches

de matériaux non traités. 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. [14]

Une chaussée souple aéronautique est constituée de matériaux bitumineux et se compose :

- D'une couche de roulement en matériaux bitumineux,
- D'une couche de base en matériaux bitumineux,
- D'une couche de fondation, constituée d'un grave non traité.

En plus des trois couches citées ci-dessus, une couche de liaison peut éventuellement être intercalée entre la couche de roulement et la couche de base. L'ensemble couche de roulement-couche de liaison forme la couche de surface. À noter également que l'ensemble couche de base-couche de fondation forme la couche d'assise. Toutes les couches situées au-dessus de la plate-forme constituent la structure de chaussée (voir figure 14).

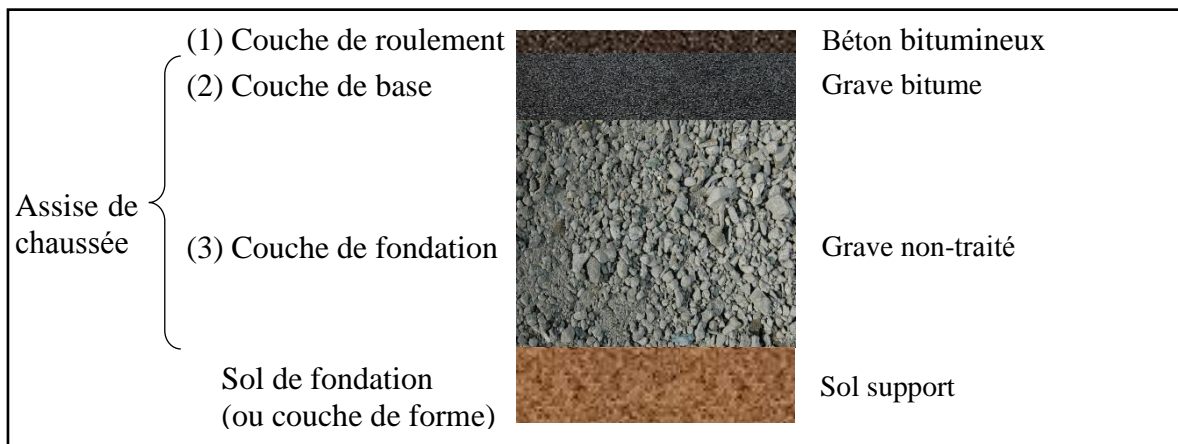


Figure 14 : Corps de chaussées souple.

Les chaussées souples regroupant les structures souples et semi-rigides, et certains cas de structures composites (par exemple une ancienne chaussée rigide fortement fragmentée, renforcée par des matériaux traités aux liants hydrocarbonés).

a. Couche de roulement

Elle doit être constituée de béton bitumineux qui respecte les caractéristiques particulières d'étanchéité et de rugosité.

b. Couche de base

L'emploi de gravier-bitume est recommandé en couche de base. Dans le cas de chaussée recevront un trafic peu contraignant le sable-bitume ou les matériaux non traités peuvent être utilisés en couche de base. Le grave à émulsion peut également être utilisé.

c. Couche de fondation

L'emploi des matériaux non traités est recommandé en couche de fondation. Il est possible d'y utiliser le grave-bitume ou le sable-bitume lorsque leurs coûts ne sont pas rédhibitoires.

➤ Particularités des chaussées souples

La chaussée souple se caractérise par le fait que toutes les couches qui la composent ne présentent pas une très grande résistance, l'atterrissage de l'avion est essentiellement assuré par l'épaisseur du corps de chaussées [14].

La couche de roulement est constituée de béton bitumineux aéronautique [14]. De granulométrie 0/10 ou 0/14, continue ou discontinue. La qualité première recherchée pour la couche de surface est l'imperméabilisation optimale de la chaussée, qui est obtenue par une très forte compacité du matériau (entre 3 % et 6 % de teneur en vide), à partir d'une formulation riche en bitume pur (teneur en liant : généralement entre 6 % et 6,5 %) choisi de préférence en classe 50/70 (pour les sollicitations moyennes) ou 35/50 (pour les fortes sollicitations).

Nota : les classes de bitume sont définies selon la norme NF EN 12591. Cette classification est établie selon la pénétrabilité nominale à 25 °C d'une aiguille normalisée (méthode NF EN 1426). Ainsi, un bitume de classe 50/70 signifie que sa pénétrabilité à 25 °C est comprise entre 5 mm et 7 mm.

Sur les aires de stationnement ou autres aires fortement sollicitées, il faudra s'assurer de l'obtention de très bonnes performances mécaniques du matériau, en particulier d'une bonne résistance au fluage sous sollicitation tangentielle. Enfin, sur les postes de stationnement, il faudra prévoir une protection anti-kérosène de la surface de la chaussée.

Afin de bien assurer le transfert de contraintes entre couches superposées, les interfaces doivent être collées par des matériaux hydrocarbonés. Il est de plus fortement conseillé de choisir des matériaux hydrocarbonés pour la couche de base et la couche de liaison ; en effet, l'expérience des couches de base traitées en grave ciment ou grave laitier (chaussées semi-rigides) est décevante dans le domaine des chaussées d'aérodromes (remontées de fissures qui, compte tenu du trafic et des conditions d'exploitation, ne se referment pas, d'où des pénétrations d'eau dans le corps de chaussée...). De même, dans le cadre de chaussées composites, ces problèmes de remontées de fissures sont fréquents ; il convient de se référer au guide techniques anti-remontées de fissures, publié par le STBA.

Dans le cas des chaussées dites légères (destinées aux avions de moins de 5,7 t), la couche de base est choisie en matériaux non liés.

Les matériaux retenus pour la couche de fondation auront des caractéristiques identiques à celles recherchées lors d'une utilisation pour chaussée routière.

4.1.2. Chaussées rigides

Les chaussées rigides sont des structures comportant en couche supérieure des matériaux traités au liant hydraulique (voir figure 15). La nature du béton hydraulique fait que la rigidité des dalles qui constituent la partie supérieure de la chaussée protège le sol-support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce en premier lieu dans la dalle par excès de contraintes. [14]

Il s'agit, d'une part, des chaussées rigides qui répartissent les charges appliquées sur une surface très étendue du sol support au moyen d'une dalle de béton fléchissant élastiquement. Du fait de cette large répartition, le sol-support est peu contraint, de sorte que la ruine de la chaussée s'amorcera ici, non 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.

Il s'agit, d'autre part, des chaussées souples qui superposent au sol-support plusieurs couches de matériaux offrant de meilleures qualités mécaniques sans pour autant être supposés davantage capables de travailler à la traction. Vulnérables là où les qualités mécaniques sont les plus faibles, ces chaussées sont destinées à périr non par usure de leurs constituants, mais par rupture de leurs sols-supports.

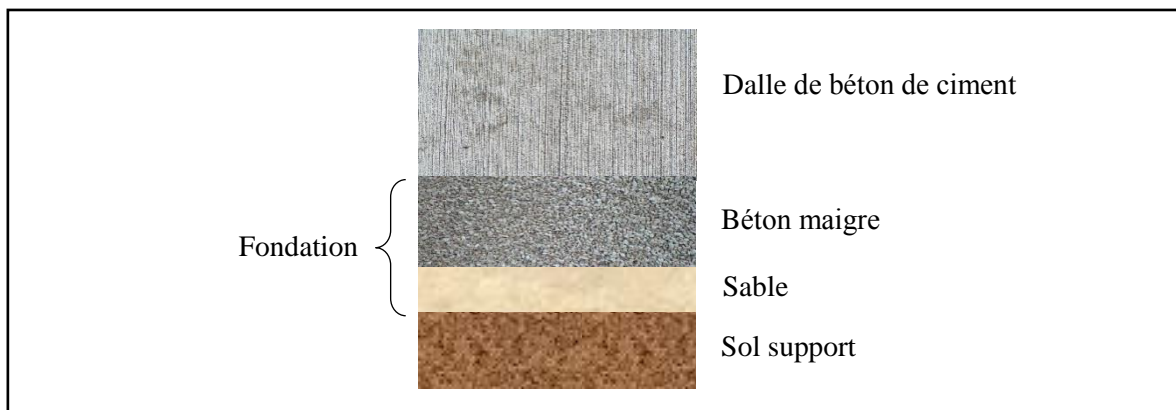


Figure 15 : Corps de chaussées rigide.

➤ Particularités des chaussées rigides

C'est la couche de surface, en béton hydraulique et donc fortement rigide, qui constitue l'élément principal de la résistance de ce type de chaussée. Elle joue à la fois le rôle de la couche de base et de la couche de surface d'une chaussée souple. Elle repose sur une ou plusieurs couches de fondation dont le rôle est moins de participer réellement à la portance de la piste que d'assurer à la dalle de béton un support régulier et continu qui lui permettra de travailler dans les meilleures conditions [14].

Afin d'éviter le phénomène de pompage, la couche de fondation est réalisée avec un matériau formulé pour ne pas être érodable (béton maigre ou association grave ciment et béton poreux).

Nota : le phénomène de pompage est une pathologie des chaussées en béton présentant des fondations érodables. Lors du passage d'une charge roulante sur un joint longitudinal, la mise en charge de la dalle aval est brutale (alors que celle de la dalle amont est progressive) ce qui a pour effet de chasser l'eau (incompressible) qui a pu s'infiltrer au niveau des joints, entraînant alors un déplacement des fines de la fondation. Il en découle une mise en escalier des dalles.

Les transferts de charge sont assurés par des joints longitudinaux de construction (de type rainure et languette ou, plus couramment aujourd'hui, de type sinusoïdal). Dans le cas de chaussées fortement sollicitées, il est conseillé de prévoir un système complémentaire de goujonnage des joints.

Les produits utilisés pour fermer les joints doivent dans tous les cas assurer une étanchéité parfaite, et pour cela bien adhérer aux parois des dalles, conserver leur souplesse au cours des années et résister aux attaques provoquées par les carburants (risque d'infiltration d'eau).

Concernant les dispositions constructives des chaussées en béton, il sera utile de se référer au Guide technique des chaussées aéronautiques en béton hydraulique, publié par le STBA.

4.2. Choix du type de chaussées

Le choix du type de chaussées résulte de considérations techniques et économiques.

Doit tenir compte :

- Des couts de construction et d'entretien ;
- Des objectifs de gestion des chaussées ;
- Des conditions locales d'approvisionnement en matériaux ;
- Des détails de mise en œuvre ;

- Des possibilités de phasage des travaux, de renforcement ultérieur des chaussées ;
- Du climat ;
- De la maîtrise des techniques disponibles, etc.

4.2.1. Chaussée rigide

La chaussée en béton, dont le renforcement est toujours difficile et coûteux, convient plutôt mieux aux aérodromes à fort trafic qui sont obligés d'avoir des pistes dimensionnées pour un trafic très important et qui disposent d'une deuxième piste permettant de délester la première durant les travaux de renforcement.

Ce type de revêtement convient également mieux sur les aires recevant de fortes contraintes de poinçonnement (postes de stationnement des avions gros porteurs) et sur certaines aires militaires sur lesquelles un revêtement hydrocarboné serait exposé au risque de brûlure sous l'effet du dégagement des gaz des réacteurs d'avions militaires (phase de postcombustion sur les seuils de piste ou roulage à faible vitesse).

4.2.2. Chaussée souple

La chaussée souple est plus économique, plus facile à renforcer et bien adaptée aux faibles trafics : elle peut être conçue relativement mince pendant les premières années de fonctionnement de l'aéroport, puis être renforcée au fur et à mesure de l'apparition d'avions plus lourds ou de l'augmentation du trafic.

Tableau comparative entre chaussée souple et rigide :

Chaussée rigide	Chaussée souple
<ul style="list-style-type: none">- Préférable pour les aires de stationnement des aérodromes fréquentés par un trafic commercial ;- Vieillissent moins rapidement que les chaussées souples ;- Sont plus difficiles à renforcer ;- Sont plus économiques à la construction que les chaussées souples sur les sols de résistance faible, mais homogène.	<ul style="list-style-type: none">- Préférable pour les accotements de piste ;- Vieillissent plus rapidement que les chaussées rigides ;- Sont moins difficiles à renforcer ;- Sont préférables sur les sols supports susceptibles de tassements.

Tableau 2 : Comparaison entre chaussée souple et rigide.

5. Conclusion

D'après la comparaison effectuée dans ce chapitre, le choix de la structure rigide pour l'aérodrome de Laghouat se confirme vu les exigences multiples et les missions importantes à exécuter dans les plans opérationnel et économique. Les avantages sont donc multiples, néanmoins les inconvénients ne se manquent pas non plus.

Dans le prochain chapitre nous allons concentrer notre recherche sur les dégradations les plus fréquentes sur les chaussées rigides et comment y faire face.

Chapitre 2 :
Description de l'aérodrome et l'état de
dégradation de la chaussée

1. Introduction

Les chaussées aéronautiques constituent une part importante des infrastructures opérationnelles d'un aérodrome. Afin de préserver et d'utiliser au mieux possible les chaussées de l'aérodrome, nous avons jugé utile et primordial de procéder à une étude d'évaluation des chaussées de notre aérodrome, l'évaluation de ces dernières repose sur les relevés visuels qui permettent d'établir la condition de la structure, de diagnostiquer les causes des dégradations apparentes et de cibler les solutions de réparation les plus appropriées. Pour son bon établissement, le relevé visuel est appuyé sur le catalogue des dégradations de surface des chaussées « LCPC ».

2. Présentation du projet

2.1. Localisation

L'aéroport de Laghouat est un aéroport militaire ouvert à quelques vols civils, desservant la ville de Laghouat et sa région. Situé à 30 km au sud-est de la ville de Laghouat, cette ville est depuis la période coloniale exploitée par les militaires, sa position géographique la favorise d'être un point d'escale inévitable pour les voyageurs vers le grand Sahara, ce qui donne une importance à son aérodrome qui est destiné à être un aéroport national pouvant accueillir des avions civils et militaires. Pour cela, la restauration et réfection technique de développement des infrastructures de l'aéroport Moulay Ahmed Medeghri restera toujours une priorité.

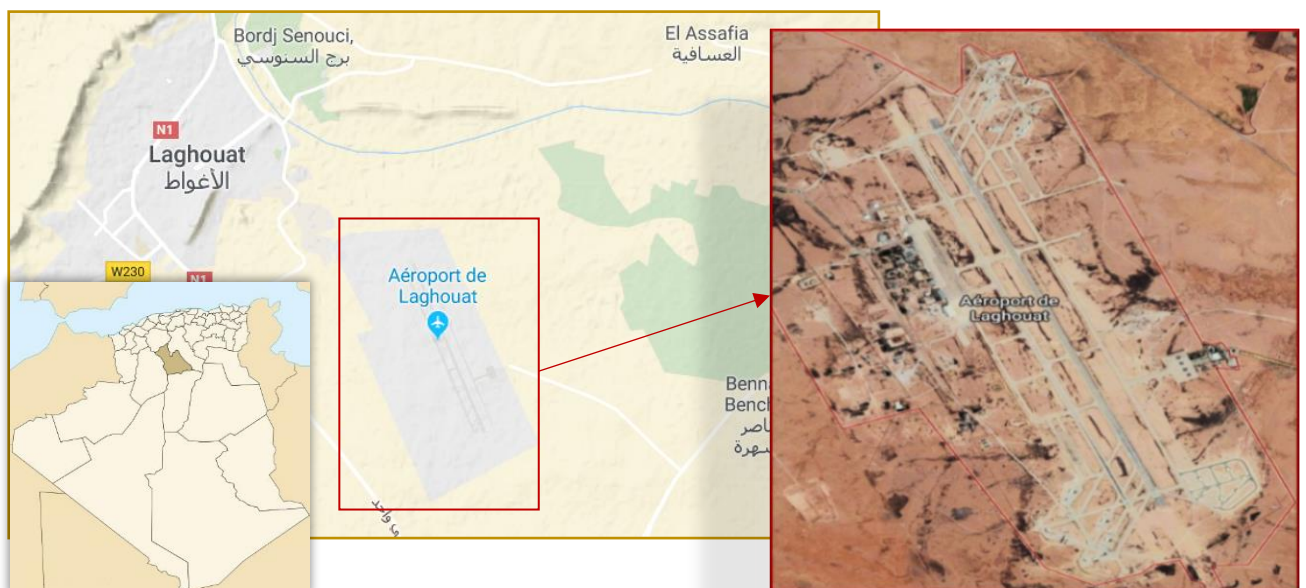


Figure 16 : Localisation de l'aéroport de Laghouat.

2.2. Historique de l'aérodrome

L'Aérodrome de Laghouat « Moulay Ahmed Medeghri » est construit sous l'emprise française pour des fins militaires. Au lendemain de l'indépendance, il devient un aéroport mixte (civil et militaire). En 1985, la piste principale 16L/34R a subi un renforcement lourd en remplaçant la chaussée souple par une chaussée rigide, plusieurs interventions localisées se résument à des colmatages de fissures et à des renouvellements des joints, dus au vieillissement de la couche de roulement ont été effectuées régulièrement.

2.3. Présentation de l'aérodrome

2.3.1. Données générales

- Nom de l'aérodrome : Moulay Ahmed Medeghri.
- Wilaya d'implantation : Laghouat.
- Classe : B (selon la classification Algérienne des aérodromes).
- Statut : Militaire.
- Situation géographique : L'aérodrome est situé à 30 km de la ville de Laghouat.
- Classement : National.
- Superficie de la zone aéroportuaire : 15 ha.
- Code IATA/OACI : LOO/DAUL.
- Date de construction : Les années 50.
- Date de mise en service : 1963.
- Pistes :
 - Orientation : deux pistes parallèles orientées 340/160
 - Dimension : 3800 m x 45 m.
 - Nature : Souple/rigide.
 - Résistance : 8T/SIWL.

2.3.2. Environnement de l'aérodrome et climatologie

- Altitude de l'aérodrome : 764 m.
- Température de référence : 31,5°C.
- Pluviométrie : 148,2 mm.
- Vents dominants : nord-sud.

2.3.3. Description de l'aérodrome de Laghouat

L'Aérodrome de Laghouat « Moulay Ahmed Medeghri » est composé de :

a. Pistes d'envol

- Une piste principale en structure rigide en béton hydraulique. Identifiée par les seuils 16/34 (orientée 338.25° Nord-Ouest).
 - Longueur 3800 m x Largeur 45m.
 - Accotements existants.
 - P.O.R revêtu.
- Une piste secondaire 16/34 en structure semi-rigide (en Béton bitumineux et Grave Bitume).

b. Taxiway

- Longueur 3800 m x largeur 25 m.
- Accotements inexistant.

c. Aire de stationnement (parking civil)

- Longueur 250 m x largeur 150 m.
- Accotements inexistant.
- Système de drainage inexistant.

d. Tour de contrôle (TWR)

e. Station météo

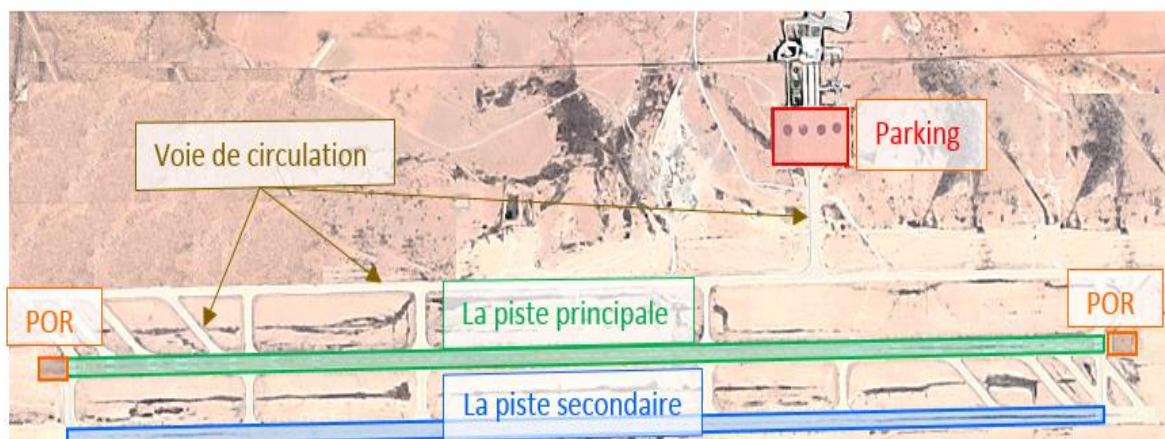


Figure 17 : Composition de l'aérodrome de Laghouat.

2.3.4. Sismicité

La région de Laghouat est située dans la zone I de faible sismicité, néanmoins toutes les constructions doivent obéir au règlement parasismique en vigueur.

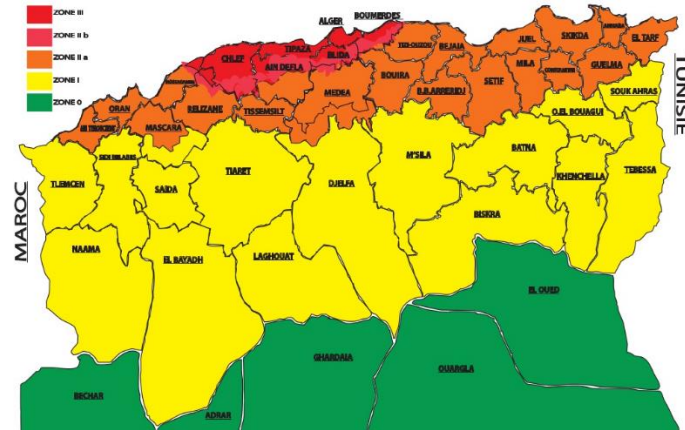


Figure 18 : Carte de zonage sismique de l'Algérie.

2.3.5. Plan de masse



Figure 19 : Plan de masse de l'aérodrome de Laghouat.

3. Suivi et auscultation des chaussées aéronautique

3.1. Suivi des chaussées aéronautiques

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, parmi ceux-ci, il est intéressant de constater que celui se rapportant à l'état de surface occupe une place

privilegiée dans la mesure où les dégradations en ce domaine peuvent être facilement reliées aux autres indicateurs.

3.1.1. Processus de détérioration des chaussées

Afin de mieux comprendre le système de suivi, il n'apparaît pas inutile de distinguer les étapes pouvant être observées dans le processus de détérioration des chaussées convenablement dimensionnées (voir figure 20).

La première de celles-ci correspond aux premières années de vie de la chaussée, durant lesquelles seules ne devraient apparaître que des dégradations très ponctuelles et de degré de gravité léger. Sans entretien, ces dégradations vont se multiplier et perdre leur caractère ponctuel pour s'étendre sur des zones de plus en plus grandes et atteindre en certains points le niveau de gravité élevé. On peut considérer que l'on a alors franchi un **seuil critique**, à partir duquel la chaussée nécessite un suivi plus fréquent eu égard aux contraintes de sécurité liées à son exploitation.



(1) Degré de gravité léger

Sauf entretien encore, le développement des dégradations va s'accroître jusqu'à atteindre un nouveau seuil, dit **seuil d'alarme**, qui correspond au début d'une chute irrémédiable des qualités structurelles de la chaussée. On peut en effet considérer que la présence de nombreuses dégradations, initialement de surface et ne portant de ce fait atteinte qu'aux qualités fonctionnelles de la



(2) Degré moyen de gravité

chaussée, a fini par générer, sous l'action destructrice des eaux d'infiltration, des désordres affectant le corps de la chaussée dans la majeure partie de son épaisseur. Tous travaux se bornant à rétablir une parfaite étanchéité de la couche de roulement sont désormais insuffisants. On entre dans une troisième étape où seuls des travaux de réfection peuvent permettre une amélioration durable du niveau de service.

Enfin, si on laisse se poursuivre ce processus de détérioration, l'utilisation de la chaussée va présenter à court terme un risque portant atteinte à la sécurité des avions. Est alors atteint le seuil limite de réparation.



(3) Degré élevé de gravité

Figure 20 : (1), (2) et (3) Dégradation de même type à différents degrés de gravité (la piste principale 16L/34R).

3.1.2. Nécessité d'un suivi

Le suivi des chaussées aéronautiques est une obligation faite aux gestionnaires d'aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique. Il doit leur permettre de se rendre compte de l'évolution, sous le trafic réel, des ouvrages dont ils ont la charge et d'être en mesure d'intervenir à temps pour les maintenir en bon état ou, à défaut, d'en modifier les charges admissibles déclarées. [6]

L'examen des chaussées doit porter à la fois sur les caractéristiques de surface, c'est-à-dire sur celles qui ont trait à son intégrité, à son uni et à son adhérence, ainsi que sur les caractéristiques structurelles dont dépend la portance de l'ensemble chaussée-sol support.

Lorsque les caractéristiques de surface deviennent insuffisantes, il y a lieu de procéder à la rénovation de la chaussée en intervenant sur sa couche de roulement. Lorsque les caractéristiques structurelles deviendront à leurs tours insuffisantes, il conviendra de procéder à un renforcement de la chaussée.

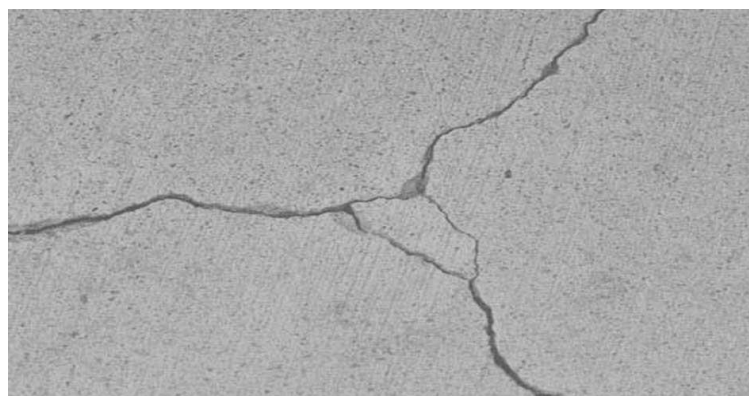


Figure 21 : Exemple de chaussée totalement dégradée.

3.2. Inspection visuelle des chaussées aéronautiques

La méthode de l'indice de service constitue l'outil de référence pour la majorité des aérodromes. De mise en œuvre rapide, peu onéreuse, peu pénalisante pour la circulation aérienne, elle fournit une masse importante d'informations sur l'état des chaussées et son évolution dans le temps, masse d'informations qui constitue une aide à la décision précieuse en matière d'entretien, de réfection, d'auscultation lourde et d'adéquation de la portance déclarée à la capacité réelle de la chaussée.



Figure 22 : Relevé visuel des dégradations.

3.2.1. La méthode de l'indice de service

Se voulant être représentatif du niveau de service d'une chaussée aéronautique, son indice de service (I.S) est déterminé à partir d'un relevé visuel de ses dégradations. [8]

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. 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.

a. Méthode de calcul

- Découpage de la section caractéristique en maille de 500 m² ;
- Faire le relevé visuel des dégradations sur chaque maille ;
- Détermination d'une valeur numérique significative déduite (VD) de l'influence de la dégradation sur les qualités de la chaussée, cette valeur tirée à l'aide d'un abaque propre au type de dégradation ;
- Détermination d'une valeur déduite totale (VDT), cette valeur obtenue par l'addition des diverses valeurs déduites de chacune des mailles.

La VDT est corrigée au moyen d'un deuxième abaque qui tient compte du nombre et du type de dégradation significative (dont les valeurs déduites sont supérieures à 5).

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

$$IS = 100 - VDC$$

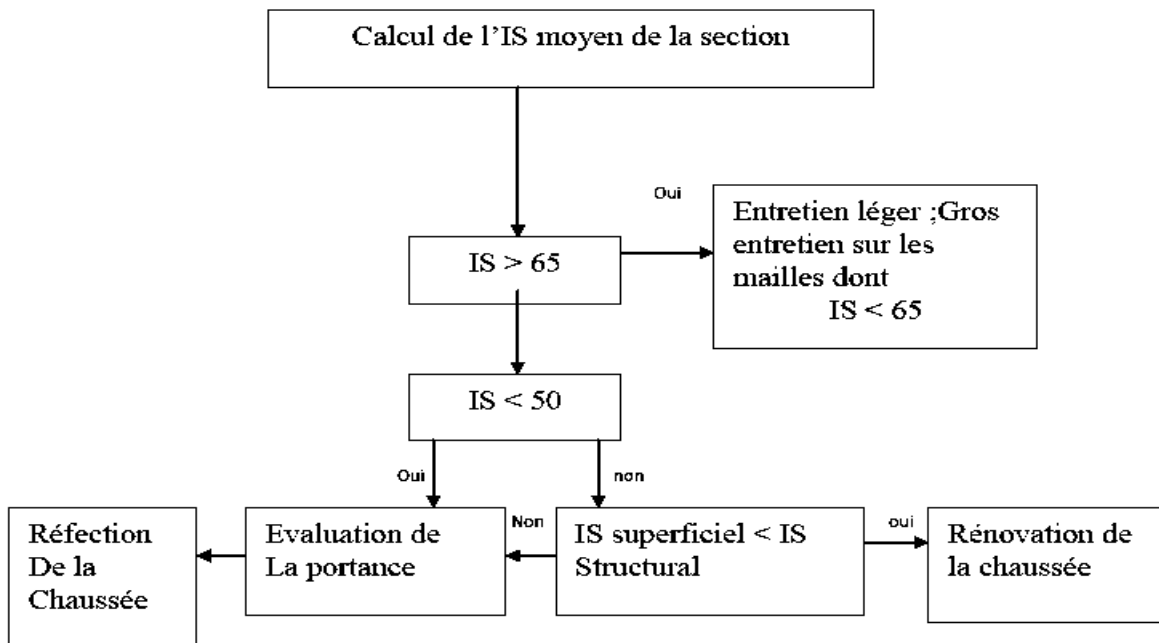
IS global :

Indice calculé à partir du traitement de l'ensemble des dégradations rencontrées sur la chaussée qui donne son état global.

- **IS structurel** : Indice de service calculé à partir du traitement des dégradations des structures rencontrées sur la chaussée permettant d'apprécier l'état de la chaussée révélant un défaut de portance.
- **IS superficiel** : Indice de service calculé à partir des dégradations des surfaces rencontrées sur la chaussée permettant d'apprécier l'état superficiel de la chaussée.

b. Interprétation des résultats

Afin de justifier le renforcement ou non de l'aérodrome, il est indispensable de passer par l'organigramme suivant :



[8]

L'I.S. est un indicateur 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 elle avec le niveau de service offert par la chaussée, les correspondances étant les suivantes :

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

Tableau 3 : Indice de service.

3.2.2. Le relevé de dégradations

Conformément aux recommandations du catalogue des dégradations (STBA, décembre 1984), chaque dégradation est répertoriée à l'aide du triplet d'informations suivant :

- Le type de la dégradation (vingt-deux types retenus pour les chaussées souples, dix pour les chaussées rigides),
- Le niveau de gravité : léger (L), moyen (M) ou élevé (E),
- La densité de dégradation dans la maille considérée, densité mesurée par une surface caractéristique de chaque type de dégradation.

Le relevé visuel sera effectué selon une procédure rigoureuse permettant le repérage des dégradations lors du relevé initial et leur reconnaissance lors des relevés suivants. Certaines dispositions sont pour ce faire préconisées, à savoir :

- Sur une piste, le relevé s'effectuera toujours à partir du QFU de plus faible valeur tandis que, sur les bretelles, il sera exécuté à partir de l'extrémité au contact de la piste.
- Le relevé sera effectué au minimum par deux personnes.
- La délimitation au sol des mailles de relevé utilisera au maximum les caractéristiques physiques de la chaussée. Ainsi, dans le cas des chaussées rigides, le repérage des mailles ne fera-t-il appel à aucun pré-marquage particulier du fait de la présence des joints de dalles.
- Dans le cas d'un marquage au sol préexistant ou de la présence d'un balisage lumineux axial, il sera judicieux de choisir une longueur de maille permettant de faire coïncider les côtés

transversaux des mailles avec des repères existants. Cette longueur sera également choisie de façon à avoir une maille de l'ordre de 500 m², surface correspondant le plus souvent à une longueur de 25 m.

- Les pistes ne donneront généralement lieu qu'à un relevé visuel de leurs vingt ou trente mètres centraux les plus circulés. Les voies de circulation pourront, quant à elles, être inspectées sur toute leur largeur.
- Le relevé sur aires de stationnement s'effectuera par bandes contiguës, préférentiellement, pour les chaussées souples, dans le sens permettant de prendre pour repères les joints de passe du finisseur.

➤ Les moyens utilisés pour le relevé visuel sont

- Le catalogue de dégradations,
- Les feuilles de relevé,
- Une règle de 3 m et un mètre de poche destinés à la mesure des déformations.

4. Dégradation des chaussées

A la base de toute méthodologie d'auscultation des chaussées et de toute stratégie d'entretien, figurent généralement un relevé des dégradations de surface et une interprétation associée. La dégradation de surface constitue, dans la plupart des cas, un des indicateurs les plus précoces et les plus sensibles de l'évolution des caractéristiques structurelles et de surface des chaussées.

4.1. Les dégradations les plus rencontrées

Les dégradations les plus couramment rencontrées se classent en deux grandes familles :

- Les dégradations **structurelles**.
- Les dégradations **superficielles**.

Les premières apparaissent au sein de la structure de chaussée ou de son support et mettent en cause le patrimoine. Les secondes prennent naissance dans la couche de surface de la chaussée et affectent d'abord ses qualités superficielles.

4.1.1. Dégradations structurelles

- a. **Fissuration de fatigue** des assises de chaussée ou de la couche de roulement due à la répétition des efforts de traction par flexion au passage des charges. Cette dégradation apparaît dans les bandes de roulement parallèlement à l'axe de la chaussée ; elle évolue vers un faïençage à mailles de plus en plus fines pouvant prendre l'aspect, sur certaines structures, d'une fissuration en dalles.
- b. **Déformations structurelles** dues à un sol support peu portant et insuffisamment protégé par la chaussée, ou à des matériaux de chaussée de mauvaise qualité. Il peut s'agir d'ornièrre à grand rayon, d'affaissements de rive ou de flache suivant la localisation et l'extension des déformations.

4.1.2. Dégradations superficielles

- a. **Remontées de liant** en excès à la surface de la couche de roulement lors de périodes chaudes.
- b. **Usure de la couche de roulement** se traduisant par le polissage des gravillons, leur arrachement ou celui du mortier sous l'effet du frottement des pneumatiques et des efforts tangentiels exercés par les charges roulantes.
- c. **Ornièrre par fluage** dit « à petit rayon » de la couche de roulement ou de son support bitumineux sous l'effet du trafic lourd.
- d. **Fissuration de la couche de roulement** liée à une mauvaise exécution des joints de construction, au vieillissement du liant ou à une sensibilité du bitume aux contraintes thermiques.

4.2. Types de dégradations et facteurs influant sur les chaussées rigides

4.2.1. Types de dégradations

Le catalogue des dégradations de surface des chaussées (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées LCPC, 1998) rassemble la totalité des dégradations recensées par famille de structure avec leurs différents niveaux de gravité.

a. Fissure transversale

Fissure sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée, isolée ou périodique, d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la dalle. [9]

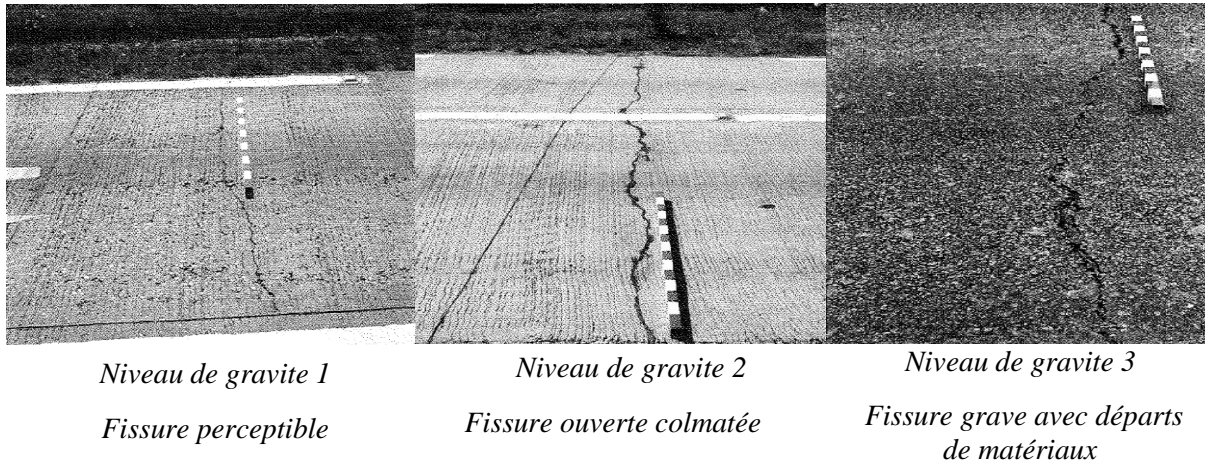


Figure 23 : (1), (2) et (3) fissure à différents degrés de gravité

b. Fissure longitudinale non spécifique aux bandes de roulement

Fissure sensiblement parallèle à l'axe de la chaussée, non limitée à la bande de roulement.

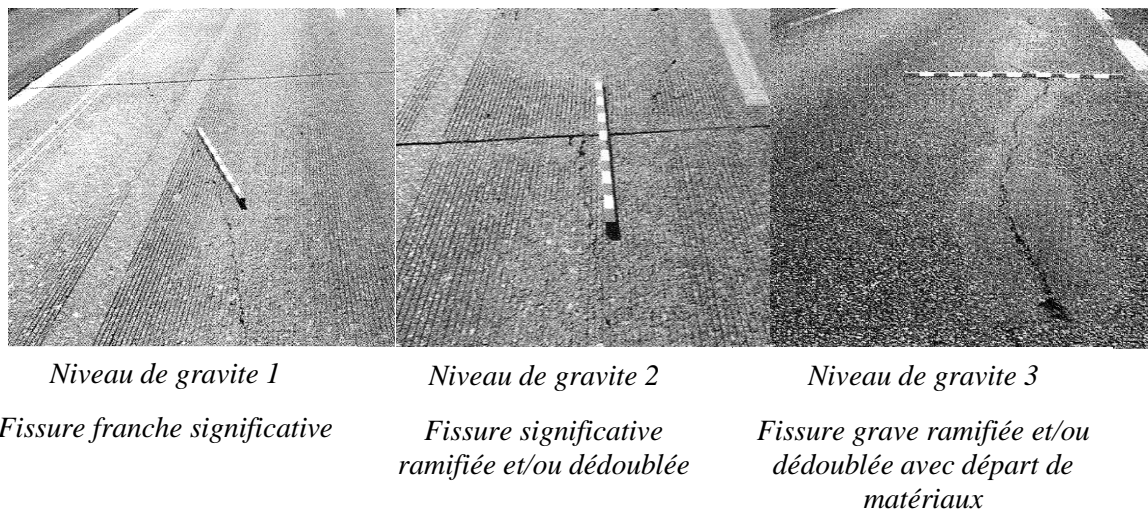
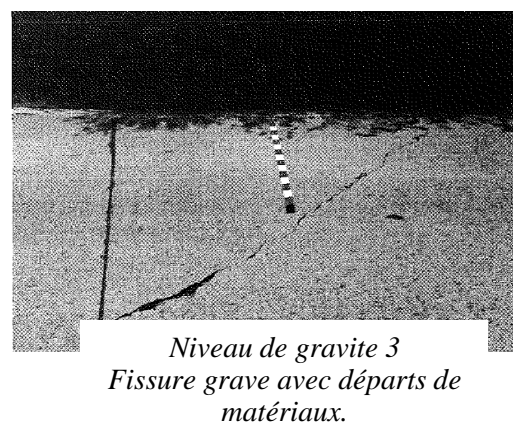
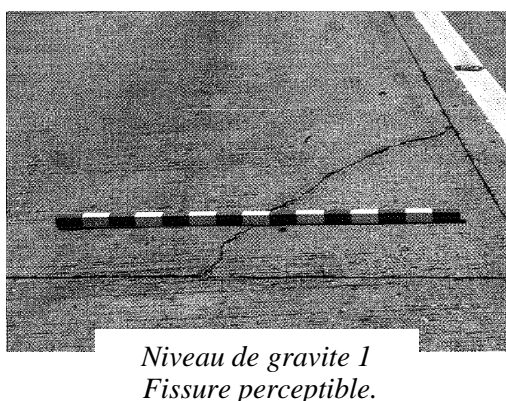
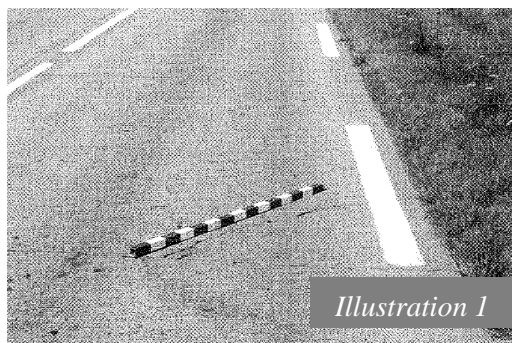


Figure 24 : (1), (2) et (3) fissure longitudinale à différents degrés de gravité

c. Fissure oblique

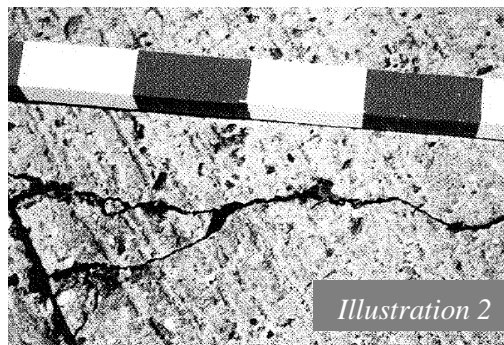
Cassure de dalle rejoignant deux côtés adjacents et située à plus de 50 cm du coin de dalle. [9]





Niveau de gravité 2

Fissure significative ramifiée.



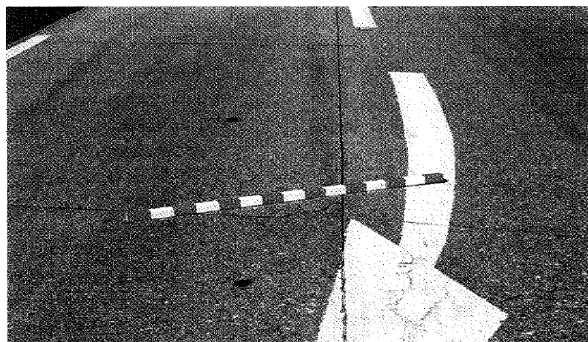
Niveau de gravité 2

Détail de l'illustration 1.

Figure 25 : (1), (2) et (3) fissure oblique à différents degrés de gravité

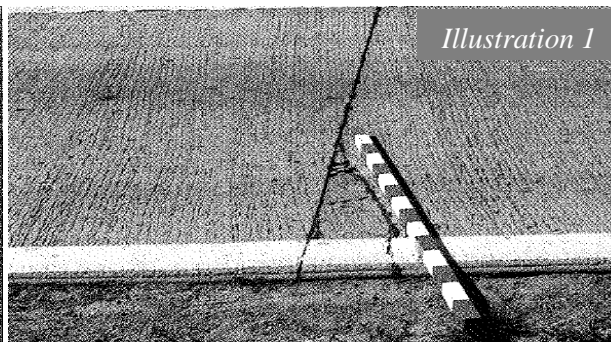
d. Cassure d'angle

Cassure de dalle rejoignant deux côtés adjacents et située à moins de 50 cm du coin de dalle.



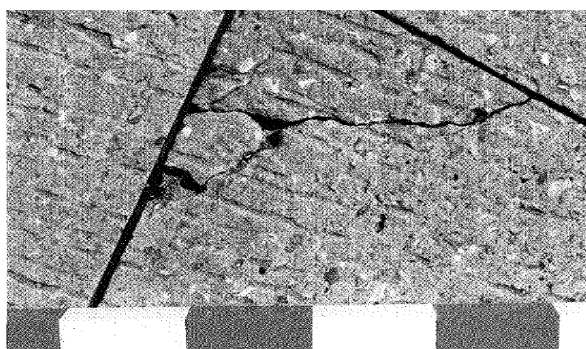
Niveau de gravité 1

Cassure franche.



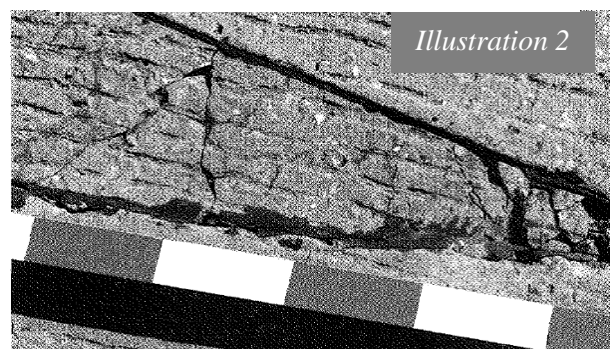
Niveau de gravité 3

Cassure dégradée avec départ de matériaux.



Niveau de gravité 2

Cassure dégradée.



Niveau de gravité 2

Détail de l'illustration 1.

Figure 26 : (1), (2) et (3) Cassure d'angle à différents degrés de gravité.

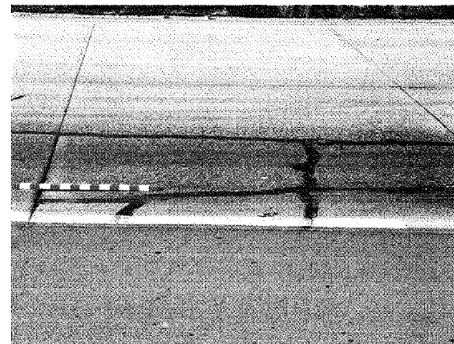
e. Fissures en « Balles »

Fissures longitudinales et transversales se rejoignant pour former un réseau ou un maillage.



Niveau de gravité 1

*Dalles de construction fractionnées
en trois à quatre dallettes au moins.*



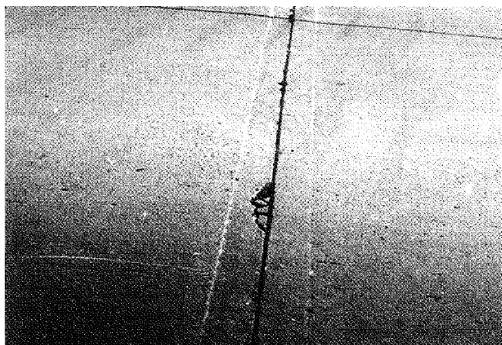
Niveau de gravité 2

*Dalles de construction fractionnées
en cinq dallettes au moins.*

Figure 27 : (1), (2) Fissures en « Balles » de même type à différents degrés de gravité

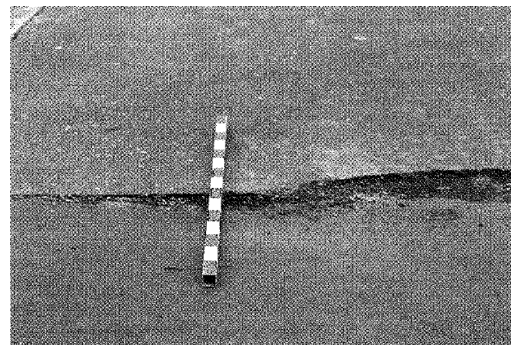
f. Épaufrure

Effritement du bord de la dalle au niveau du joint.



Niveau de gravité 1

Épaufrure localisée.



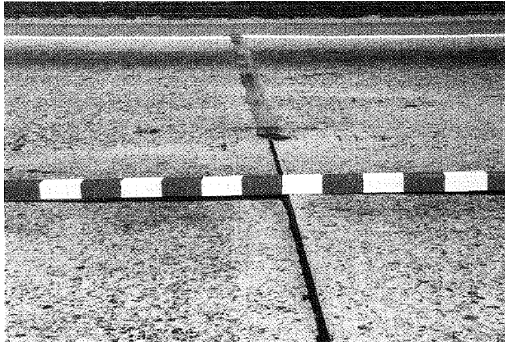
Niveau de gravité 2

Épaufrure étendue.

Figure 28 : (1), (2) Épaufrure à différents degrés de gravité.

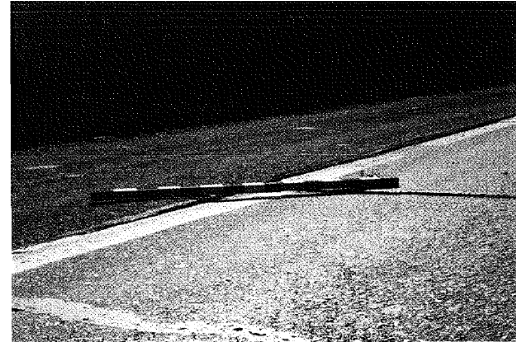
g. Décalage de joint (de dalle ou de bord de fissure)

Dénivellation verticale entre les deux lèvres d'un joint de dalle ou de bord de fissure.



Niveau de gravité 1

Décalage perceptible (inférieur à 2 cm).



Niveau de gravité 2

Décalage significatif (supérieur à 2 cm).

Figure 29 : (1), (2) Décalage de joint à différents degrés de gravité

h. Flambement

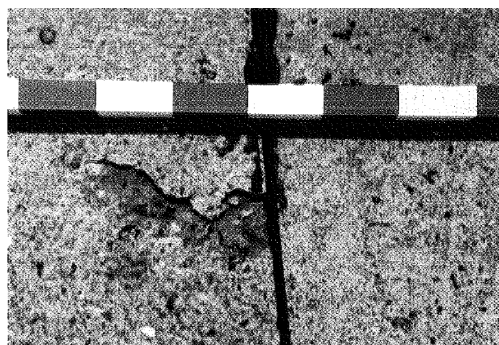
Renflement localisé par mise en compression d'un joint de dalle.



Figure 30 : Flambement

i. Ecaillage

Désintégration superficielle localisée de la surface de béton.



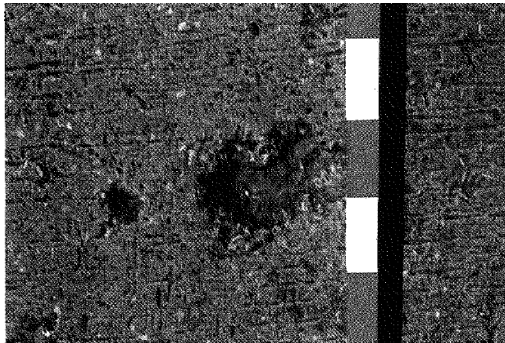
Niveau de gravité 2

Dégradation affectant une surface supérieure à 2 cm).

Figure 31 : Ecaillage

j. Nid de poule

Cavité circulaire créée à la surface de la chaussée par des départs de matériaux.



Niveau de gravité 1

Cavité perceptible de diamètre inférieur à 0.15 m.



Niveau de gravité 2

Cavité perceptible supérieure à 0.15 m.

Figure 32 : (1), (2) nid de poule à différents degrés de gravité

k. Rejet de pompage

Ejection de matériaux (eau, boue...) à la surface de chaussée lors de passages de véhicules lourds, au niveau des fissures ou des joints (par suite de l'existence de cavités sous les dalles).



Niveau de gravité 1

Figure 33 : Rejet de pompage

4.2.2. Facteurs influant sur les dégradations des chaussées

Pour les chaussées en dalles de béton, chaque type de dégradation comporte par ailleurs l'explication des causes probables, l'évolution prévisible de la dégradation, les principaux paramètres susceptibles d'influencer l'évolution.

a. Causes probables

- Rupture par fatigue des dalles de béton sous l'effet de l'accumulation de contraintes de traction-flexion excessives.
- Mauvais appui de la dalle.
- Mauvais appui du coin de la dalle.
- Mauvais drainage.
- Pénétration de l'eau dans le corps de chaussée.
- Manque de cohésion et sensibilité à l'eau du support.
- Inclusion accidentelle, lors de la fabrication ou de la mise en œuvre, d'éléments étrangers au matériau de construction (boule d'argile, papier, caoutchouc, morceau de bois ou de métal, feuilles d'arbres).
- Compression d'un point dur dans le joint.
- Action du gel et des produits anti gel.
- Chocs mécaniques.
- Chocs thermiques sur pistes aéronautiques.
- Blocage des joints par des corps étranges ne permettant plus la dilatation du béton.
- Glissement des dalles dans une forte rampe.
- Erodabilité de la fondation.
- Mauvais transfert des charges au niveau des joints transversaux.
- Portance et/ou cohésion insuffisante du sol support.
- Mouvements de matériaux sous les deux bords du joint dus à un phénomène de pompage.
- Joints bloqués empêchant la dilation thermique et créant une compression au niveau des bords de dalle qui entraîne leur effritement.
- Evolution de l'endommagement par excès de contraintes de traction-flexion à la base des dalles. L'origine de cet excès de contrainte est une sous-épaisseur des dalles associée à une portance insuffisante du support qui peut être liée à un défaut de drainage ou exceptionnellement à des phénomènes de gel et de dégel. [9]

b. Évolution prévisible et dégradations associées

- L'ouverture de la fissure et l'épaufrure des lèvres favorisent la pénétration de l'eau dans le corps de chaussée et le sol support. Les coins de dalle contigus à la fissure peuvent se casser. Les battements de dalle, provoqués par le trafic lourd, entraînent des rejets de

pompage conduisant à l'apparition des vides sous les dalles aval en bord de fissures puis à une mise en escalier des éléments de dalles.

- Il y a mise en escalier (décalage des dalles). Ces vides de plus en plus importants permettent aux dalles de se caser. La multiplication des fissures aboutit à la fissuration en dalles plus petites.
- Augmentation de la surface concernée et éventuellement approfondissement dans les cas d'un béton gélif dans la masse ou dans le cas de chocs thermiques.
- Eclatement des bords de dalle (épaufreure) par pression des dalles les unes contre les autres. Le blocage au niveau des joints et la dilatation du béton sous l'effet des contraintes thermiques ne permettent aux bords des dalles que de se soulever par arc-boutement.
- Le décalage s'accroît et s'accompagne d'une dégradation par épaufreure des lèvres des joints ou des bords de fissures.
- Fragmentation en dalles de plus en plus petites.
- Epaufreure des bords de dalles et affaissement des dalles sont formées.
- Les vides ainsi créés sous les dalles vont conduire celles-ci à se casser sous l'effet du trafic. [9]

c. Paramètres influençant l'évolution

- Absence d'entretien de l'étanchéité.
- Trafic.
- Dimensionnement.
- Effets climatiques.
- Défaut d'étanchéité des joints et des fissures.
- Sécheresse - Pluviométrie - état du drainage.
- Battements de dalles.
- Qualité du béton.
- Chaleur.
- Pente du profil.
- Gélivité du béton.
- Amplitude des chocs thermiques.
- Gel- dégel.
- Absence de drainage latéral. [9]

4.3. Etat da la chaussée rigide (piste principale 16L/34R)

La visite de site nous a permis de relever les différents désordres qui ont affecté la couche de roulement et de localiser les sections nécessitant un renforcement.

L'auscultation visuelle de la piste principale ; a été faite à pied, afin d'évaluer le degré de dégradation de la chaussée existante.

Les dégradations enregistrées sur la piste principale sont généralement des fissures longitudinales, d'autres transversales, et cassures d'angles de dalles, constatées sur la totalité de la surface de la piste (voir figure 34).

Les joints sont défectueux n'assurant plus la fonction d'étanchéité.



Figure 34 : Les dégradations enregistrées sur la piste principale.

En résumé la majorité des dégradations enregistrées sur la chaussée de la piste principale sont :

Les fissures sont de types longitudinaux et transversaux sur l'ensemble de la piste et avec présence de quelques cassures d'angles, faïençage sur une ou deux dalles, et décollement des joints sur pratiquement toutes les dalles.

4.4. Causes des dégradations de la piste principale

Les ruptures de coins de dalles, et les intersections des fissures avec les bords de dalles sont dues aux mauvaises conditions d'appui des dalles et des transferts de charges combinées à la répétition des charges.

La présence de cassures aux coins de dalles, affectant une partie de l'épaisseur de la dalle sont la cause de matériaux incompressibles dans les joints (défaut d'entretien des joints) avec faiblesse du béton face aux sollicitations dynamiques augmentées par le sciage des joints avec une faible résistance à la compression d'où les conséquences d'infiltrations d'eau dans le corps de chaussée, et le départ de matériaux.

5. Solutions attribuées

Le diagnostic effectué sur le site nous a permis de recenser l'ensemble des dégradations observées sur la chaussée de la piste principale.

Afin de ne pas porter préjudice à la sécurité de l'aérodrome, plusieurs recommandations peuvent être préconisées afin d'y remédier aux différentes dégradations répertoriées sur site à savoir :

- Vieillesse et défaut de mise en œuvre des joints, rapport incorrect entre la largeur et la profondeur du joint, absence de fond de joint. Arrachement du produit pour joint. Mauvais entretien des joints.
- Faiblesse du béton face aux sollicitations dynamique avec détérioration locale prématurée du béton.
- Remontée de fines à travers les fissures et les joints due aux battements de dalles sous l'effet des charges provoquant des mouvements d'eau sous pression dalles et fondation provoquant la dégradation des matériaux du corps de chaussée et dés-enrobage avec chute de portance.
- Dégradation des conditions de la dalle, tassement ou érosion du sol de fondation, avec portance insuffisante due à l'épaisseur trop faible de la dalle, résistance insuffisante du béton à la traction, et mauvaises conditions d'appui de la dalle.
- Absence d'un système de drainage efficace provoquant un défaut d'interface propice à la circulation de l'eau.

Partie Pratique

CHAPITRE 3 :
Etude géotechnique et dimensionnement de la
chaussée

1.Introduction

L'exécution et le renforcement des aires de manœuvre d'un aéroport nécessitent une bonne connaissance des terrains traversés. Pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'information indispensable à chaque étape pour les travaux de réalisation.

2. But de l'étude géotechnique

Le but de l'étude géotechnique est d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support. Pour l'élaboration et l'exécution du projet, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de l'assise, pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensable. En effet, cette reconnaissance permet :

- En phase d'études, de bien définir le projet (dimensionnement du corps de chaussée, choix de matériaux).
- En phase d'exécution, de réaliser les travaux avec minimum d'aléas possibles (choix de moyens et des matériels adaptés à la nature des sols).

3. Auscultation et reconnaissance géotechnique

3.1. Auscultation visuelle de l'état de surface de la piste 16L/34R

Un relevé visuel de l'état de surface a été réalisé. Les schémas suivants présentent en détail le relevé réalisé :

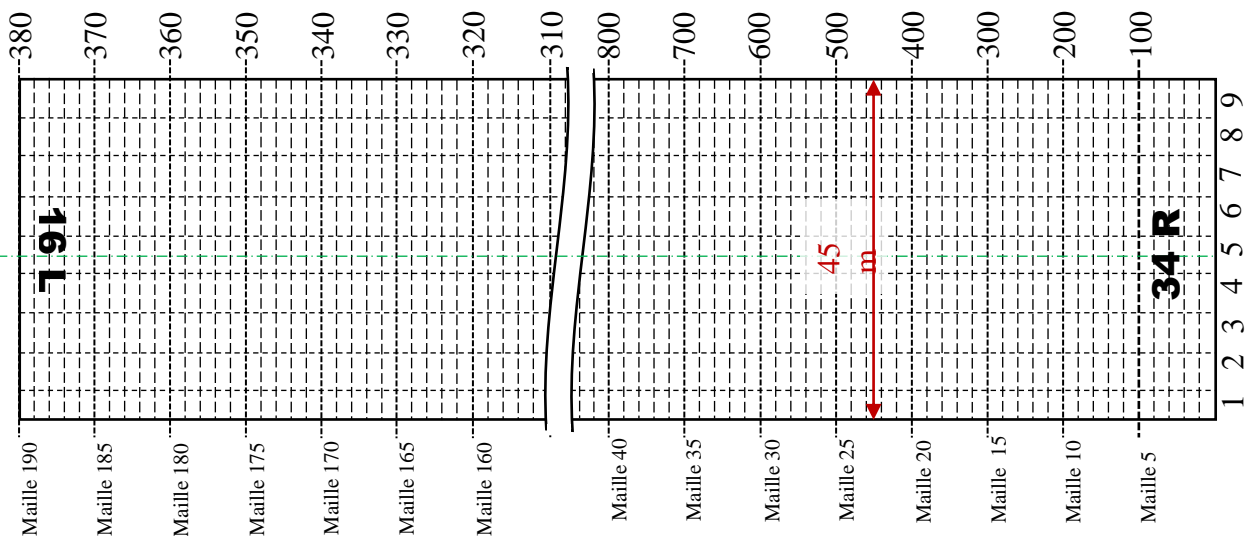


Figure 35 : schéma détaillé du relevé de dégradation.

L'auscultation visuelle de la piste principale en vue de relever les différentes sortes de dégradations qui se manifestent à la surface de la chaussée est l'une des étapes décisives de cette étude.

Il s'agit de relever visuellement toutes les dégradations (fissurations longitudinales et transversales, cassure de dalle, déformations, dés-enrobage, etc....) qui se manifestent en surface des chaussées (voir figure 36). On doit relever non seulement les types de dégradations, mais aussi leur étendue et leur état de gravité, et diviser les ouvrages en zones homogènes.

Le relevé de l'état de surface de la piste principale a décelé des fissures relativement importantes dans quelques dalles, ainsi que la dégradation de l'état des joints entre dalles dans quelques endroits.

La surface de la chaussée présente un état moyen avec quelques dégradations localisées et de faible degré et ceci pour l'ensemble de la piste.



Figure 36 : Dégradations relevées visuellement (la piste principale 16L/34R).

La dégradation précoce des joints entre dalles s'explique probablement par la présence de la combinaison de plusieurs facteurs en même temps à savoir :

- Effet de l'écart thermique connu dans cette région.
- Sollicitation des dalles par le trafic.
- Vieillessement des joints entre dalles.

3.2. Reconnaissance géotechnique

La méthode utilisée pour une bonne connaissance géotechnique, c'est d'établir un programme de reconnaissance géotechnique, qui est établi par la SAETI (Société Algérienne d'Etude d'infrastructure) et exécuté par un laboratoire, Et il comporte :

- 1) Des essais in situ englobant :
 - Creusement des puits de reconnaissance.
 - Campagne de carottage au niveau des chaussées existant.

2) Des essais au laboratoire

3.2.1. Campagne de carottage sur chaussée

La campagne de carottage consiste à déterminer :

- Les épaisseurs de différentes couches des chaussées, la profondeur des fissures de dégradations et leur nature.
- La résistance à la traction du béton qui joue un rôle important pour les couches, qui sont posées sur le support en béton.

Un support solide est la condition pour une étanchéité ou un enduit réussi du béton. Avec cette méthode il est possible de mesurer la résistance à la traction de la carotte dans différentes profondeurs.

a. Exécution

- Fabriquer les échantillons en laboratoire

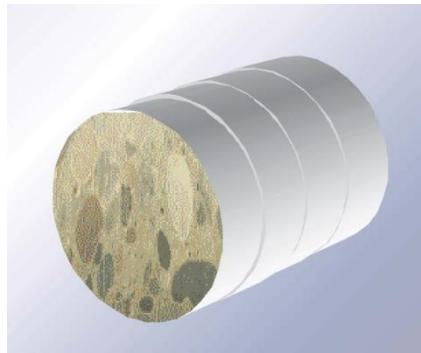


Figure 37 : Carotte découpée en échantillons.

b. Résultat

Neuf (9) carottes prélevées sur la chaussée de la piste, afin d'obtenir une bonne connaissance de la structure de chaussée, et afin de déterminer les caractéristiques des différentes couches par des essais de laboratoire.

Les carottes montrent une dalle de béton de ciment d'une épaisseur de 32 à 33,5 cm qui repose sur une couche en matériaux bitumineux de 4 à 5,7 cm d'épaisseur. L'accrochage entre les deux couches est assuré. [10]



Figure 38 : Cette carotte montre que la fissure est superficielle (environ 06cm).

3.2.2. Essais de laboratoire sur les dalles en béton et sur la couche bitumineuse

a. Exécution

- Exécuter l'essai de traction par fendage avec une presse
Appliquer la charge de façon, à ce que la tension dans l'échantillon augmente de 0.05 N/mm par seconde.

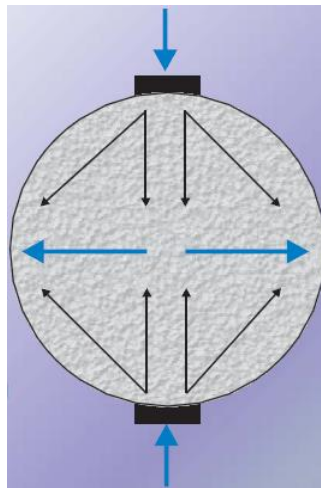


Figure 39 : Répartition de tension dans l'échantillon

- Calculer la résistance à la traction σ

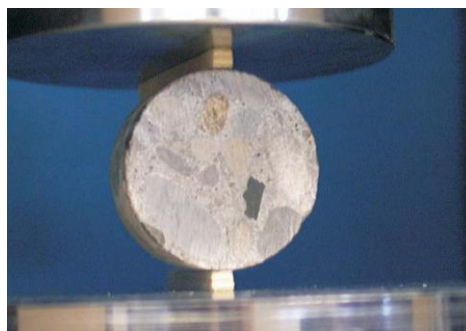


Figure 40 : Echantillon sous la presse

b. Résultat

Neuf (9) éprouvettes cylindriques ont été confectionnées et soumises à l'essai de traction par fendage afin de déterminer la résistance de traction par fendage du béton de ciment, donc sa résistance à la fissuration, l'ensemble de résultats est illustré sur le tableau suivant :

Éprouvette	Diamètre (cm)	Longueur (cm)	Charge (kN)	Résistance (MPa)
L89C5	14,4	28,5	241,8	3,75
L118C5	14,4	28,3	119,9	3,00
L126C5	14,4	28,6	255,8	3,96
L278C3	14,4	28,8	221,6	3,40
L295C3	14,4	28,5	306,7	4,76
L388C4	14,4	27,5	249,2	4,01
L575C6	14,4	28,6	247,1	3,82
L585C8	14,4	28,7	189,9	2,93
L585C2	14,4	28,3	289,3	4,52

Tableau 4 : L'essai de traction par fendage des (09) éprouvettes cylindriques.

À la lumière des données du tableau ci-dessus, il ressort ce qui suit :

- Les résistances de traction par fendage se répartissent comme suit :
 - Résistance moyenne : 3,794 MPa
 - Résistance maximale : 4,76 MPa
 - Résistance minimale : 2,93 MPa
 - Ecart type : 0,62 MPa

Les résistances obtenues sont satisfaisantes, ce qui reflète que le béton de revêtement présente de bonnes caractéristiques mécaniques.

Quant à la couche bitumineuse, elle est caractérisée par : voir tableau ci-dessous

Eprouvette	Épaisseur cm	Densité t/m ³	Passant à 0,08mm %	Teneur en bitume %
L89C5	5,2	2,22	07	5,67
L118C5	5,5	2,22		
L126C5	4,0	2,22		4,24
L295C3	5,7	2,22		4,10
L585C8	5,2	2,27		
L585C2	5,0	2,24		

Tableau 5 : Caractéristique de la couche bitumineuse.

Au vu des résultats obtenus, on peut indiquer que la couche bitumineuse sous la dalle en béton est un béton bitumineux (0/10), dont ses caractéristiques sont conformes aux spécifications de la norme en vigueur.

3.2.3. Essai de plaque

L'essai de plaque recommandé par le bureau d'étude est le type Westergaard afin de déterminer le module de réaction K_0 , alors que les résultats transmis concernent le type LCPC qui permet l'évaluation de la déformabilité et la compacité du sol (voir figure 41).

a. Mesure du module sous chargement statique à la plaque (EV_2)

Cet essai a pour objet la détermination de la valeur du « Module sous chargement statique à la plaque » d'une plate-forme EV_2 .

Il s'applique aux plates-formes d'ouvrages de terrassement et d'assainissement destinées à la construction d'infrastructures routières, ferroviaires, aéroportuaires constituées par des matériaux comportant des éléments, dont le D_{max} est inférieur à 200 mm.

Cet essai consiste à évaluer la déformabilité d'un sol (tassements de la plaque) en effectuant deux cycles de chargement à vitesse constante (80daN/s) sur une plaque rigide de 60 cm de diamètre. [14]



Figure 41 : Essai à la plaque.

b. Procédure de l'essai

La plaque est disposée sur le matériau à tester, avec une interposition d'une fine couche de sable.

Un vérin de 200 kN, surmonté d'une cellule dynamométrique transmet la charge à la plaque en prenant appui sous un camion chargé. Les déformations sont mesurées à l'aide d'une poutre de Benkelman comportant un comparateur au centième (voir figure 42). [14]

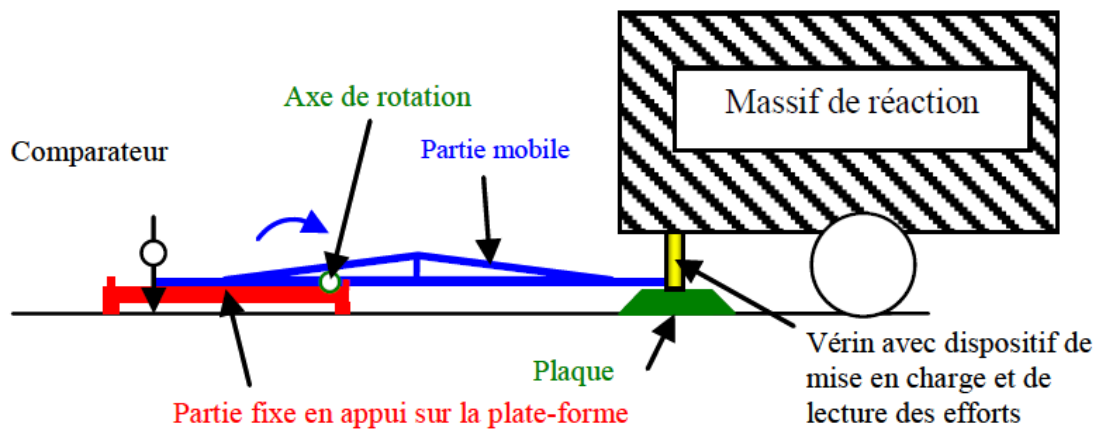


Figure 42 : Poutre BENKELMAN.

L'essai comprend deux cycles de chargement :

- 1^{er} cycle de chargement de 0 à 0.25 MPa (F=7068 daN) :

La pression est maintenue jusqu'à stabilisation de la déformation (<0.02 mm/15s). Mesure de l'enfoncement z_0 (mm), puis déchargement.

- 2^{ème} cycle de chargement de 0 à 0.20 MPa (F=5645 daN) :

Après stabilisation de la déformation (<0.02 mm/15s), mesure de l'enfoncement z_2 (mm), puis déchargement.

c. Interprétation

Le module de déformation à la plaque EV_2 de la plateforme au point d'auscultation est déterminé à partir de la formule de Boussinesq : $EV_2 = \frac{\pi}{4} * (1 - \nu^2) \cdot \frac{p \cdot d}{z_2}$

- d : diamètre de la plaque
- p : pression effective moyenne appliquée au sol
- EV_2 : module de déformation statique
- ν : coefficient de poisson
- z_2 : enfoncement de la plaque provoqué par le deuxième chargement.

Si l'on assimile l'expression $(1 - \nu^2)$ à la valeur 1, on obtient approximativement : $EV_2 = \frac{90}{z_2}$

Avec z_2 en mm et EV_2 en MPa.

- Remarque sur le mode opératoire « essai à la plaque » du LCPC (1973)

Ce mode opératoire interprète également le premier chargement (à 0.25 MPa). La valeur du module EV_1 caractérise en effet la déformabilité du remblai dans l'état de compacité où il se trouve.

Dans une hypothèse de valeur du coefficient de poisson de $\nu=0.25$, son expression donnée par :

$$EV_1 = \frac{112.5}{e_1}$$

Une valeur faible de EV_1 peut être due, soit à une insuffisance de compactage, soit à un matériau de médiocre qualité, soit à un matériau compacté à une teneur en eau trop élevée. [14]

Dès lors, le module EV_2 permet d'apprécier l'évolution de la déformabilité au cours de chargements successifs.

Si le compactage initial est insuffisant, on notera une diminution importante de la déformabilité.

Le rapport $k=EV_2 / EV_1$ permet d'apprécier la qualité du compactage. Le compactage est d'autant meilleur que le rapport EV_2 / EV_1 est faible.

- $EV_2 / EV_1 < 2$ = bon compactage
- $EV_2 / EV_1 < 1,2$ = très bon compactage

Au vu des résultats obtenus ($EV_2 / EV_1 = 1,5$) on peut indiquer que la qualité de compactage est bonne.

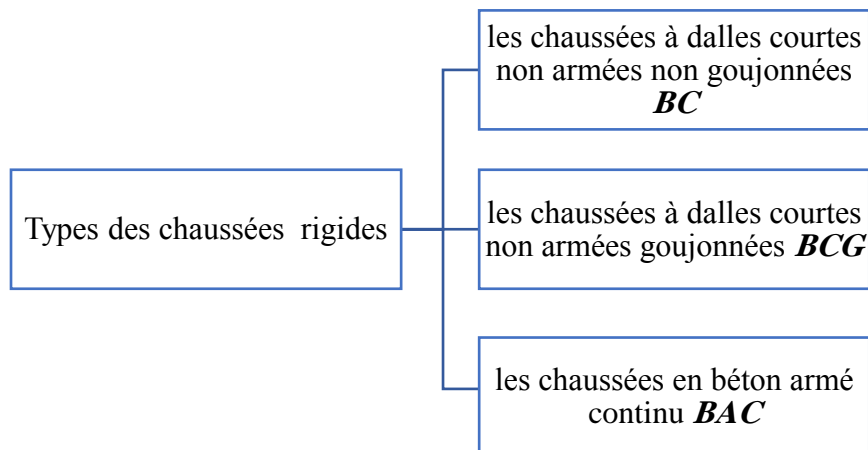
4. Dimensionnement de la chaussée

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 chaussées en béton sont classées selon la façon dont sont localisées et éventuellement traitées les discontinuités associées aux retraits de prise et thermique du béton.

On peut distinguer trois types de dalles en béton de ciment



La couche en béton de ciment repose sur une couche de fondation qui peut être :

- en béton maigre,
- en grave traitée aux liants hydrauliques avec éventuellement interposition de béton poreux,
- l'ancienne chaussée en enrobés ou en béton (préalablement fracturée si celle-ci est en béton) dans le cas d'un renforcement.

Pour les structures construites depuis une vingtaine d'années, afin d'éviter le phénomène de pompage, la fondation est réalisée avec un matériau formulé pour ne pas être érodable (béton maigre ou association grave ciment + béton poreux).

Conçues et réalisées selon les règles de l'art, ces structures peuvent supporter des trafics d'avions lourds et sont essentiellement utilisées sur les aérodromes militaires.

À titre indicatif, l'épaisseur des fondations en béton maigre varie de 15 à 20 cm et l'épaisseur des dalles de revêtement en béton de ciment de 25 à 40 cm.

➤ **Chaussées à dalles courtes non armées et goujonnées (BCG)**

Afin d'améliorer le comportement des joints de construction transversaux et le transfert de l'effort tranchant entre dalles, des goujons sont disposés à mi-épaisseur de la dalle au droit de chaque joint. Les goujons sont des barres d'acier lisses dont les caractéristiques sont précisées, enduites sur au moins la moitié de leur longueur d'un produit évitant l'adhérence au béton pour permettre les mouvements longitudinaux des dalles ; les goujons sont espacés de 30 cm environ. Cette technique, bien adaptée aux trafics d'avions lourds est utilisée sur les aires aéronautiques civiles et militaire.

L'épaisseur des fondations en béton maigre varie de 15 à 20 cm et celle des dalles de béton de ciment goujonnées de 25 à 40 cm.

4.1. Dimensionnement de corps de chaussée

4.1.1 Couche de roulement

En fonction de la contrainte admissible, du module de réaction du sol et de la charge, on détermine à travers les abaques l'épaisseur de la dalle de béton. Pour notre cas il s'agit d'une piste existante donc l'épaisseur est prédéterminée.

e dalle = 32 cm



Figure 43 : Epaisseur de la dalle.

4.1.2. Couche de fondation

Le revêtement en béton de ciment repose sur une couche de fondation qui peut être :

- En grave bitume.
- En grave traité aux liants hydrauliques avec éventuellement interposition de béton poreux.

Pour notre cas, nous avons gardé l'épaisseur de la grave traitée au ciment :

$$e = 05 \text{ cm}$$

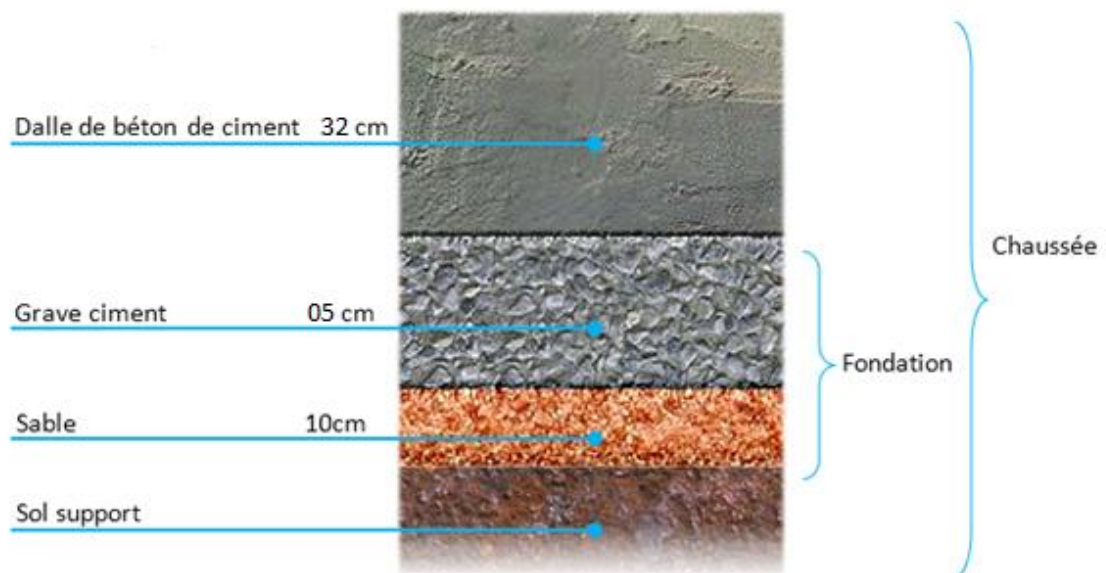


Figure 44 : Chaussée rigide.

4.2. Balisage non lumineux

Tous les aérodromes comportent des signaux, des marques ou des feux destinés à transmettre certaines indications aux navigateurs aériens.

Les marques de balisage sont de couleur blanche sur la piste et de couleur jaune sur la voie de circulation et les postes de stationnement des aéronefs, les marques sont de couleur jaune, même sur une piste :

- Sur les aires à portance réduite, prolongement d'arrêt en particulier.
- Lorsqu'elles matérialisent les raccordements aux axes des voies de circulation.
- Sur les raquettes de retournement, lorsqu'elles matérialisent le raccordement à l'axe de la piste après que l'avion effectue un demi-tour.

4.2.1. Marques et identification de piste

L'identification de la piste est caractérisée par la représentation d'un nombre à deux chiffres sur chaque seuil de la piste, caractérisant l'angle que fait l'axe de la piste avec le nord magnétique.

Dans notre cas l'identification de la piste est de 16/34.

4.2.2. Marques de seuil

Chaque piste d'un aérodrome est constituée d'un marquage à chaque extrémité « seuil » de la piste par des lignes de 30 m de longueur parallèles à l'axe de la piste.

4.2.3. Marquage d'axe de piste

La piste d'un aérodrome doit être équipée d'un marquage d'axe, ce marquage est représenté par une ligne de trait uniforme centré sur l'axe de la piste, les dimensions de ces traits sont :

- De longueur = 30 m.
- De largeur = 0.90 m.
- D'espacement = 30 m.

4.2.4. Marques de point cible

Les marques de point cible étaient préalablement connues sous le nom démarques de distance constante.

Il est recommandé que la marque de point cible soit constituée par deux bandes bien visibles. Les dimensions des bandes et l'écartement entre leurs bords intérieurs pour notre aéroport sont comme suit :

- Longueur = 30 m.
- Largeur = 4 m.
- Ecartement = 18 m.

4.2.5. Marques de zone de poser des roues

Les marques de zone de poser des roues se présenteront sous forme de paires de marques rectangulaires symétriquement disposées de part et d'autre de l'axe de la piste ; le nombre de ces paires de marques variera en fonction de la distance utilisable à l'atterrissage et lorsque les marques doivent être disposées sur une piste pour les approches dans les deux sens, en fonction de la distance entre les seuils, comme suit :

Longueur de piste	Paires de marques
Inférieure à 900 m	1
De 900 m à 1 200 m	2
De 1 200 m à 1 500 m	3
De 1 500 m à 2 400 m	4
Supérieur à 2 400 m	6

Tableau 6 : Marques de zone de poser des roues.

Les marques ne seront pas inférieures à 22,5 m de long et 3 m de large et leur espacement transversal entre les côtés intérieurs des rectangles sera égal à celui de la marque de point cible, le cas échéant.

4.3. Devis quantitatif et estimatif (métrés)

Pour évaluer la construction d'un ouvrage, on décompose généralement le projet en plusieurs volets dont le prix est connu pour chacun des postes.

Un calcul de quantités applicable à chaque volet réellement exécuté s'appelle le métré.

Donc pour notre cas le métré consistera à évaluer successivement d'une façon approximative les quantités des aires de mouvement à construire.

1. calcule des surfaces
2. calcul des quantités (travaux préparatoires des terrassements)
3. marquage de la chaussée (piste principale 16L/34R).

4.chambre de tirage.

5.conduits de câbles 2 Ø 200.

6.assainissement.

4.3.1. Calcul des surfaces

a. Chaussée rigide Piste principale (16L / 34R)

$$(3800,00 \times 45,00) \dots\dots\dots = \boxed{171\,000,00 \text{ m}^2}$$

b. Surfaces à renforcer :

Dalles en béton hydraulique à reconstruire dans la piste principale (16L / 34R)

$$4 \times (5,00 \times 1,60) + 5 \times (5,00 \times 1,70) + 5 \times (5,00 \times 1,90) + 6 \times (5,00 \times 2,20) + 3 \times (5,00 \times 2,30) + 4 \times (5,00 \times 2,50) + 5 \times (5,00 \times 2,80) + 4 \times (5,00 \times 3,00) \dots\dots\dots = \boxed{402,50 \text{ m}^2}$$

4.3.2. Calcul des quantités de la chaussée

a. Couche de fondation en grave ciment ép. 05 cm :

$$(402,50 \times 0,05) \dots\dots\dots = \boxed{20,10 \text{ m}^3}$$

b. Couche de revêtement en béton ciment ép. 32 cm :

$$(402,50 \times 0,32) \dots\dots\dots = \boxed{128,8 \text{ m}^3}$$

4.3.3. Marquage de la chaussée (Piste principale 16L / 34R)

• Marques de Seuls (B) :

$$(30 \times 1,80 \times 12 \times 2) \dots\dots\dots = \boxed{1296 \text{ m}^2}$$

• Chiffres et lettres (B) :

$$1 \dots\dots\dots = \boxed{7,62 \text{ m}^2}$$

$$3 \dots\dots\dots = \boxed{14,18 \text{ m}^2}$$

$$4 \dots\dots\dots = \boxed{13,52 \text{ m}^2}$$

6.....=	16,03 m ²
L.....=	10,50 m ²
R.....=	18,67 m ²
• Marques latérales (B) :	
(3800x2-18x50) x0,45=	3015,00 m ²
• Marques de point de cible (B) :	
(45x6x4).....=	1080 m ²
• Marques de zone de touches des roues (B) :	
(30*1,80*44).....=	2376 m ²
• Marques axiales (B) :	
(870x3x0.50)=	1305,00 m ²
TOTAL.....=	9152,52 m²
• Lignes de guidage (J) :	
(2160*0,15)=	324,00 m²

Total marquage des chaussées :

- 9152.52 m² Peinture Blanche notée (B).
- 324.00 m² Peinture Jaune notée (J).

-

CHAPITRE 4 :

Solutions de réparation de la chaussée

1.introduction

Les chaussées rigides en béton sont conçues pour des trafics aériens importants et lourds. Leur rigidité permet de proposer une solution plus performante que les autres structures vis-à-vis du comportement structural de la chaussée (déformations, fatigue, pompage des sols, comportement au dégel). Dans les dalles de chaussées en béton jointées, les goujons assurent le transfert des charges au niveau des joints conservant l'alignement horizontal et vertical des dalles, et permettant les déformations dues aux écarts de températures. Le système joint/goujons est donc un élément structural primordial vis-à-vis de la durabilité de ces structures.

2. Dispositions constructives propres aux chaussées en béton

Les chaussées aéronautiques ont une forme en plan limitée par des bords qui constituent de fait des joints entre le béton de ciment et les abords de l'ouvrage. Lorsque la surface de l'ouvrage (sa longueur et/ou sa largeur) est importante, les propriétés du béton de ciment et du support de l'ouvrage entraînent dès la construction et pendant des mois voire des années, l'apparition de discontinuités, de fissures, qui le divisent en dalles irrégulières.

Il y a quatre raisons à la réalisation systématique des joints sur les revêtements en béton destinés à être circulé par des charges généralement agressives :

- Localiser et maîtriser la fissuration induite par les retraits du béton de ciment empêchés par le frottement sur le support ;
- Réduire les épaufrures de surface au passage de charges en rendant la surface de la fissure orthogonale à la surface de roulement à son voisinage ;
- Faciliter la mise en place et l'entretien d'une étanchéité de surface des revêtements ainsi construits ;
- Assurer le transfert de charge entre les dalles ou la dilatation de la chaussée.

2.1. Calepinage

Le calepinage est l'opération qui consiste à déterminer l'emplacement de tous les joints de la piste en béton que l'on va réaliser ; il s'agit d'optimiser les dimensions et la forme des dalles surtout lorsqu'elles ne sont pas armées, ce qui est le cas dans notre projet. [13]

2.1.1. Les dimensions et la forme des dalles non armées

L'expérience et la pratique des revêtements et ouvrages linéaires en béton a permis de fixer les règles principales suivantes :

- Espacement maximum des joints ≤ 25 fois l'épaisseur de la dalle :

Les variations de température de l'air ambiant, des différentes couches de chaussée et du massif support, conduisent à des déformations des dalles : lorsque le haut est plus chaud que le bas, gradient dit « positif », la dalle se déforme, elle devient convexe ; vice-versa, gradient dit « négatif », elle devient concave.

Dans le cas où le haut de la dalle est comprimé et le bas tendu (gradient positif), au passage d'une charge, la tension qu'elle provoque en bas de couche s'ajoute à la tension due au gradient positif.

Cette tension est proportionnelle à l'intensité du gradient, mais dépend aussi des dimensions de la dalle relativement à son épaisseur.

Il a été défini une « longueur critique » de dalle au-delà de laquelle des fissures systématiques apparaissent au passage répété des charges lourdes.

Pour protéger le revêtement de l'effet négatif du passage des charges lourdes lorsque le gradient thermique est fortement positif (journées très ensoleillées), il est préférable que la longueur des dalles soit inférieure à cette longueur critique. Les calculs de longueur critique réalisés pour des gradients fréquents, les bétons utilisés, conduisent à des valeurs de 20 à 40 fois l'épaisseur ; un compromis a été trouvé pour fixer la règle à 25.

- Espacement minimum des joints : 1,5 m ;

On considère qu'une dalle dont la longueur (dimension parallèle à l'axe de la chaussée) serait inférieure à 1,5 m et dont la largeur est celle de la voie (3,5 à 4 m) ne fonctionnerait plus en dalle, mais en poutre, et ne résisterait plus assez au passage des charges lourdes en se rompant longitudinalement. [13]

2.1.2. Calepinage - Règles pratiques

Le calepinage désigne l'opération qui consiste à établir le plan des joints du revêtement à construire (voir figure 45).

En perpendiculaire au sens du trafic on trouve les joints transversaux. Ils peuvent être de retrait flexion, de construction, ou de dilatation.

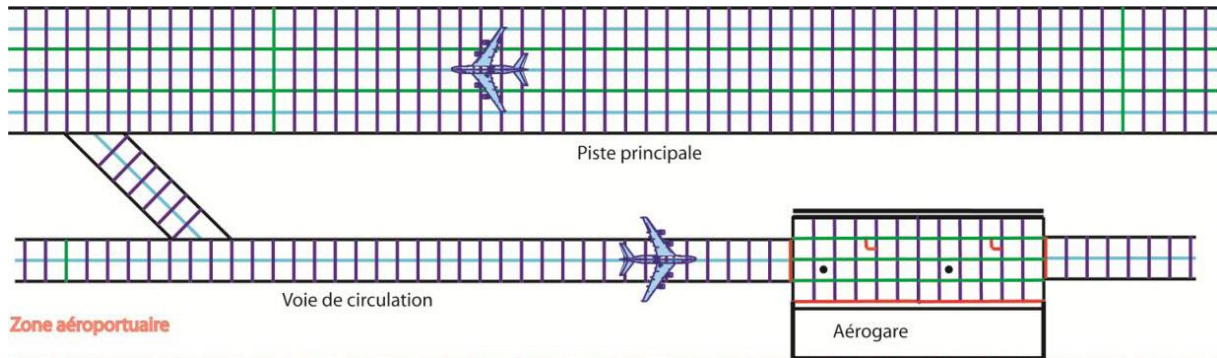
En parallèle au sens du coulage du béton, généralement le sens du trafic, on trouve les joints longitudinaux. Ils peuvent être de retrait flexion, de construction ou de dilatation.

Les joints transversaux sont à priori perpendiculaires à l'axe de la chaussée.

Au droit des joints longitudinaux de retrait, les joints transversaux ne doivent pas être en décalage (continuité du joint d'une dalle à l'autre). Si un tel décalage est nécessaire, il faut réaliser un joint longitudinal de construction.

Les joints longitudinaux ne doivent pas se trouver sous une bande de roulage des véhicules ni si possible sous la future signalisation horizontale.

Enfin, le calepinage tiendra compte de passages canalisés de charges particulières par leur agressivité (poids, nature des bandages, etc.) en évitant de placer des joints longitudinaux notamment, sous ou au voisinage de ces charges. [13]



——— Joint de construction, ——— Joint longitudinal de retrait, ——— Joint transversal de retrait, ——— Joint de dilatation

Figure 45 : différents types de joints.

2.2. Joints de retrait

2.2.1 Joints transversaux

Tous les revêtements en béton de ciment présentent une fissuration naturelle dite de retrait thermique qui va se produire quelques heures après la mise en œuvre du béton et qui va évoluer pendant la durée de vie de la chaussée.

Il faut maîtriser cette fissuration et éviter des ruptures anarchiques préjudiciables au bon fonctionnement de la chaussée. Dans ce but on localise les fissures à des endroits choisis en créant une réduction de section, une amorce de rupture appelée joint. Cette entaille est réalisée par sciage.

La création de joints va permettre en le colmatant d'assurer son étanchéité et son entretien ultérieur. [13]

a. Réalisation, Méthodologie d'exécution (joints de retrait sciés goujonnés)

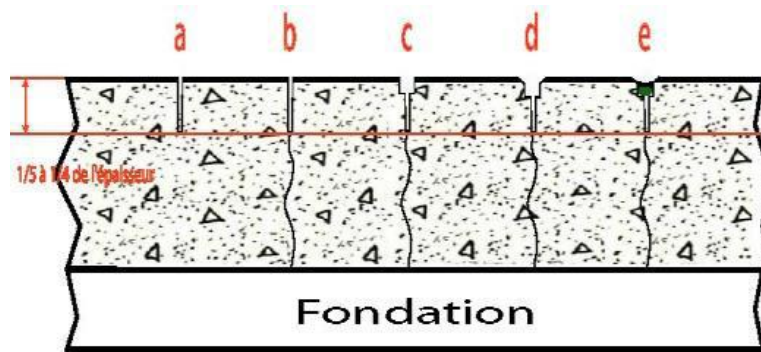


Figure 46 : Étapes de la création d'un joint

- a- amorce de fissuration, largeur 5 mm
- b- fissure provoquée et localisée par l'amorce
- c- élargissement à 10 mm, constituant le logement du produit d'étanchéité
- d- logement chanfreiné à 45°,
- e- fond de joint et produit d'étanchéité

➤ **Sciage**

- Largeur : 5 mm (3 mm avec des lames spéciales)
- Profondeur : jusqu'à 1/3 sur joints goujonnés

➤ **Élargissement pour garnissage**

- Largeur : 10 mm
- Chanfrein : 5 x 5

➤ **Nettoyage avant garnissage**

- À l'eau sous pression pour éliminer la laitance du sciage et les corps étrangers
- À sec pour dépoussiérer

➤ **Garnissage**

- Peut-être omis pour quelques PL/jour
- Mise en place d'un fond de joint rond adapté à la largeur du logement
- Application d'un primaire d'accrochage sur la partie intérieure de la gorge du joint si la fiche technique du produit le recommande
- Application du produit de garnissage en respectant les épaisseurs prescrites par les fabricants

Les goujons sont placés horizontalement, dans le sens longitudinal de la voie parallèlement à l'axe de la chaussée, et situé à mi-épaisseur de la couche de béton.

Les dimensions des barres et leur diamètre sont fixés dans la norme NF P98-170 à l'annexe C et rappelés ci-après :

Épaisseur de la dalle en cm	Diamètre des goujons en cm	Longueur des goujons en cm	Espacement des goujons en cm
13 à 15	2	40	24
16 à 20	2.5	45	30
21 à 28	3	45	30
29 à 40	4	50	40

Tableau 7 : Caractéristiques des goujons utilisés dans notre projet.

Qualité des aciers, résistance en traction > 250 MPa (cf. NF EN 13877-3).



Figure 47 : Panier à goujons fixé sur la fondation.

b. Aspects techniques

- **Le sciage :** matériel, période d'intervention, etc. création de l'amorce de fissuration sciée :
 - Les points de marquage sont implantés de part et d'autre de la dalle béton.
 - Entre ces points, le scieur effectue le tracé du joint à la surface de la dalle, et à la peinture. [13]
 - Le sciage est une opération importante et complexe dans la réalisation des structures en dalle béton. Suivant les différents paramètres, comme météo, nature des agrégats, qualité et dosage du ciment, mode de bétonnage..., le scieur appréciera le moment opportun de sciage, ni trop tôt pour ne pas



Figure 48 : Sciage de l'amorce de fissuration.

épauffer le béton ni trop tard pour ne pas risquer la fissuration anarchique de la dalle béton. En principe cette opération se situe entre 6 et 36 heures après le bétonnage. Il s'avère donc souvent nécessaire que cette opération se fasse la nuit. Pour assurer une bonne fissuration, l'amorce sciée doit avoir entre 3 et 5 mm de largeur, et la profondeur doit être jusqu'à 1/3 de l'épaisseur de la dalle. [13]

- Pour ne pas polluer le béton frais, les laitances de sciage seront immédiatement aspirées et évacuées, soit directement à la source avec des scies équipées, soit par aspirateur séparé.
- Durant la phase de durcissement du béton, on observera journellement et visuellement l'ouverture de l'amorce par fissuration ;

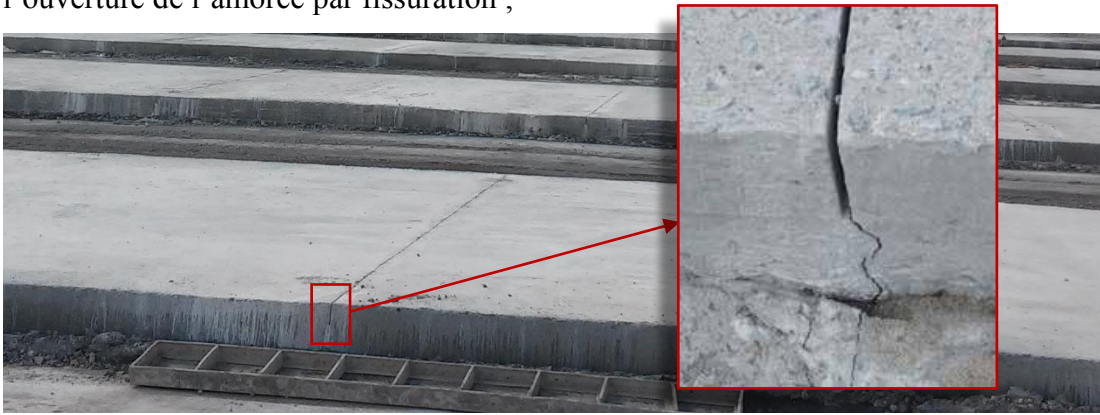


Figure 49 : Fissuration sous l'amorce sciée.

Après durcissement du béton, et pour permettre la mise en place du produit de garnissage, cette amorce sera élargie aux dimensions respectant les capacités de dilatation du produit d'étanchéité choisi, et chanfreinée : 3 à 5 mm à 45°.



Figure 50 : Chanfreinage du logement du produit d'étanchéité.

➤ **Garnissage des joints** : produits, matériel, etc.



Figure 51 : Produits d'étanchéité (la piste principale 16L/34R).

- Le produit de garnissage assure une double fonction :
 - Assurer l'étanchéité aux eaux de pluie et de ruissellement ;
 - Éviter l'entrée de corps durs (gravillons essentiellement) dans le joint lorsqu'il est ouvert par de basses températures, qui en feraient éclater les lèvres lorsque le joint serait refermé par de plus fortes températures, voire provoquer un flambement de structures minces notamment.



Figure 52 : Pose du fond de joint (la piste principale 16L/34R).

- Le type de produit de garnissage utilisé dans notre projet est le produit bitumineux coulé à chaud : Ce produit admet une élongation maximale de 25%. Il n'est pas ou peu résistant aux agressions chimiques (fuel, kérosène...).



Figure 53 : Le fondeur à bain d'huile utilisé pour le garnissage des joints.

➤ **Goujon** : nature, forme, protection, mise en place, etc.

Cette technique est utilisée pour améliorer le transfert de charge aux joints des revêtements en béton de ciment coulé en place des pistes aéroportuaires et des voies de circulation d'aéronefs.

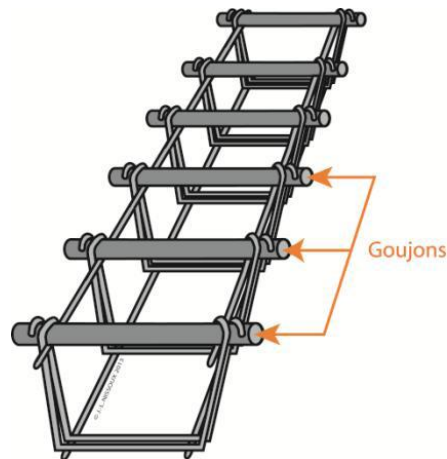


Figure 54 : Panier à goujon.

- Caractéristiques :

Les goujons doivent être conformes à la norme NF EN 13877-3.

Il s'agit de barres d'acier cylindriques et lisses, dont la résistance à la traction est au moins 250 MPa. Les goujons doivent être rectilignes, dépourvus de bavures, calamine, corrosion, ou autres irrégularités pouvant les empêcher de glisser facilement dans leurs logements ; en particulier, les extrémités doivent être sciées et non cisillées, de manière à éviter toute protubérance par rapport au diamètre nominal de la barre. Ils sont généralement livrés en paniers métalliques qui seront posés et fixés devant l'atelier de bétonnage. [13]

Pour notre projet, les diamètres et longueurs des goujons sont conformes à ceux indiqués au Tableau 4.2. Les tolérances sur les diamètres sont conformes à la norme NF EN 10060, et les tolérances sur les longueurs sont de ± 10 mm. [13]

Afin d'empêcher l'adhérence avec le béton et faciliter le glissement, les goujons doivent être revêtus d'un mince film bitumineux ou plastique sur au moins la moitié de leur longueur.

- Protection contre la corrosion

Il s'agit le plus souvent du même film qu'indiqué précédemment, appliqué sur toute la longueur du goujon (voir figure 55). Néanmoins, et pour des cas particuliers, bords de mer par exemple, on peut utiliser d'autres revêtements protecteurs pour lesquels on dispose de références locales (galvanisation, peinture époxy), ou même réaliser les goujons en acier inoxydable ou autres matériaux de rigidité voisine, résistant aux agents agressifs locaux.

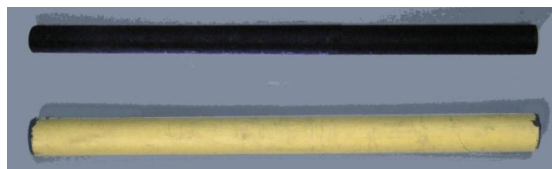


Figure 55 : Exemple de goujons protégés de la corrosion par un film de bitume (à gauche) et un film de PVC (à droite).

➤ **Choix de la section du produit d'étanchéité des joints de retrait**

- 1) établissement d'un plan de calepinage.
- 2) Amorçage de fissuration.
- 3) Le logement doit recevoir le produit d'étanchéité qui lui-même aura comme fonction :
 - d'assurer l'étanchéité aux eaux de pluie et de ruissellement,
 - d'empêcher la pénétration de substances toxiques,
 - d'éviter la pénétration de corps durs qui empêchent la libre dilatation des dalles.

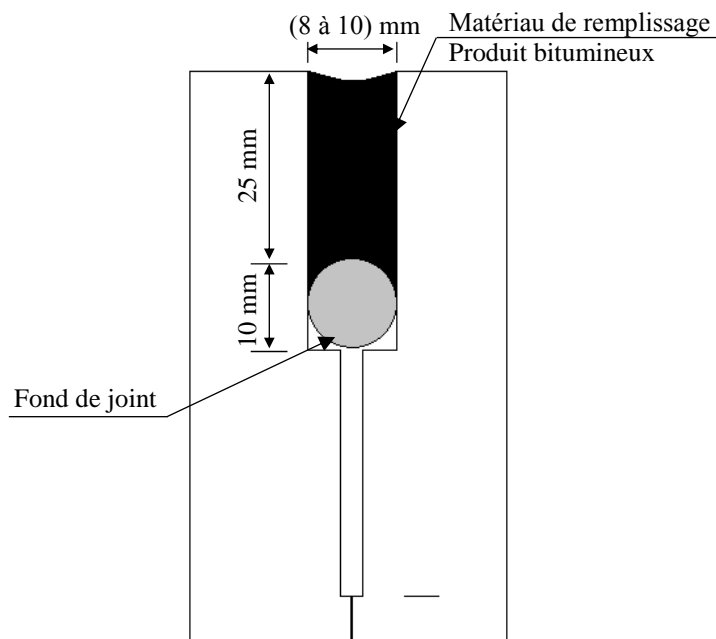


Figure 56 : Réservoir du produit d'étanchéité.

Pour garder ces fonctions pérennes, il sera nécessaire de surveiller le vieillissement de ces produits et de prévoir le cas échéant leur remplacement.

- 4) Le logement est fait par sciage, sur l'amorce de fissuration (joints de retrait flexion), ou sur le joint sec (joints de construction), ou sur le corps de joint (joints de dilatation). Les laitances de sciage devront être immédiatement aspirées et évacuées.
- 5) Le chanfreinage des bords supérieur du logement atténue sensiblement l'effet bord vif, qui est très sensible au roulage des véhicules. Il est conseillé sur 3 à 5 mm de profondeur et avec un angle de 45°. [13]

6) Le fond de joint évite le collage du produit sur la face inférieure du logement. Le collage sur 3 faces risque d'entraîner un déchirement en coin du produit de garnissage.

7) Le dimensionnement du logement doit permettre la dilatation de la dalle, ainsi que du produit de garnissage dans la limite de sa tolérance de dilatation. Ce Tableau donne un exemple de dimensions de réservoirs pour des mastics coulés à chaud.

Intervalle entre joints (m)	Dimension du réservoir	
	Largeur (mm)	Profondeur minimale (mm)
4.5 ou moins	6	13
6	12	13
7.5	13	13

Tableau 8 : Joint de retrait - Dimensions du réservoir pour un mastic coulé en place.

8) Le garnissage du logement doit se faire sur un béton suffisamment résistant (entre 60 et 70 % de la résistance finale) et ayant déjà rendu la majorité de son eau de gâchage, généralement après 28 jours. Le garnissage avant 7 jours est à proscrire. [13]

2.2.2. Joints longitudinaux

a. Réalisation, Méthodologie d'exécution (Joints longitudinaux sciés)

➤ **Implantation**

Dans le sens longitudinal, des joints sont réalisés pour permettre au revêtement en béton d'exercer un mouvement de charnière suivant l'axe longitudinal et pour limiter les contraintes dues au gradient de température. Lorsqu'un revêtement est posé en une seule phase de bétonnage et qu'il est divisé en deux bandes au moyen d'un sciage, on parle d'un joint de flexion longitudinal.

➤ **Sciage**

Largeur : 5 mm (3 mm avec des lames spéciales)

Profondeur : La profondeur du sciage doit être d'au moins 1/3 de l'épaisseur du béton.

➤ **Élargissement pour garnissage**

Largeur : 10 mm, Chanfrein : 5 mm x 5 mm.

➤ **Nettoyage avant garnissage**

- À l'eau sous pression pour éliminer la laitance du sciage et les corps étrangers
- À sec pour dépoussiérer

➤ **Garnissage**

- Peut-être omis pour quelques PL/jour
- Mise en place d'un fond de joint rond adapté à la largeur du logement du produit d'étanchéité
- Application d'un primaire d'accrochage sur la partie intérieure de la gorge du joint si la fiche technique du produit le recommande
- Application du produit de garnissage en respectant les épaisseurs prescrites par les fabricants

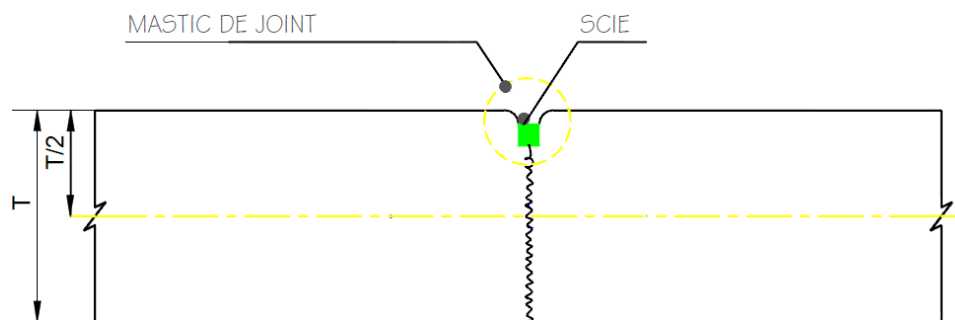


Figure 57 : Joint de retrait longitudinal.

2.3. Joints de construction

Les joints de construction sont principalement les limites latérales de la chaussée (joints longitudinaux), et les arrêts divers (joints transversaux) : début et fin de la section construite, arrêts de fabrication et/ou de mise en œuvre (fin de journée ou de semaine), panne de matériel, singularité de l'ouvrage (croisement d'une chaussée existante...).[13]

2.3.1. Joints transversaux

Un panneau de coffrage en bois ou en métal aux dimensions du joint, les cales pour fixer le panneau. Les goujons ou fers de liaison éventuels fixés sur le coffrage (voir figure 58).



Figure 58 : Réalisation d'un joint de construction.

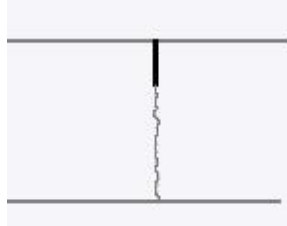
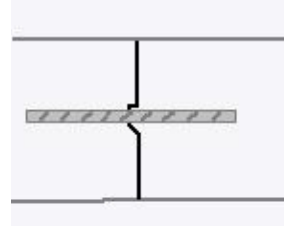
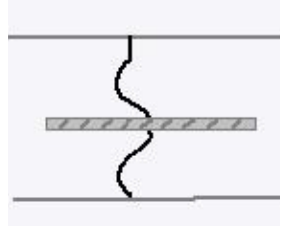
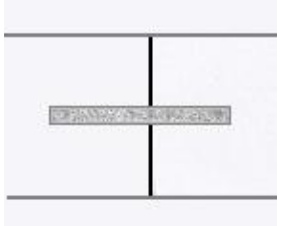
➤ **Matériel**

Le matériel de bétonnage manuel ; penser à la masse, au vibreur, à la lisseuse manuelle et au pulvérisateur manuel de produit de cure, ainsi qu'à la règle pour le contrôle de planéité.

➤ **Méthodologie**

Ne pas rajouter un joint à la chaussée : le positionner à l'emplacement prévu pour un joint de retrait.

Il faut installer un dispositif d'amélioration du transfert de charge : soit goujons (dispositif utilisé dans notre projet), soit une rainure ou une sinusoïde dans le coffrage.

Joint transversal sans transfert de charge	Joints transversaux à transfert de charge			
	sciés ou coffré plan	liaisonné rainuré	liaisonné sinusoïde	goujonné
				

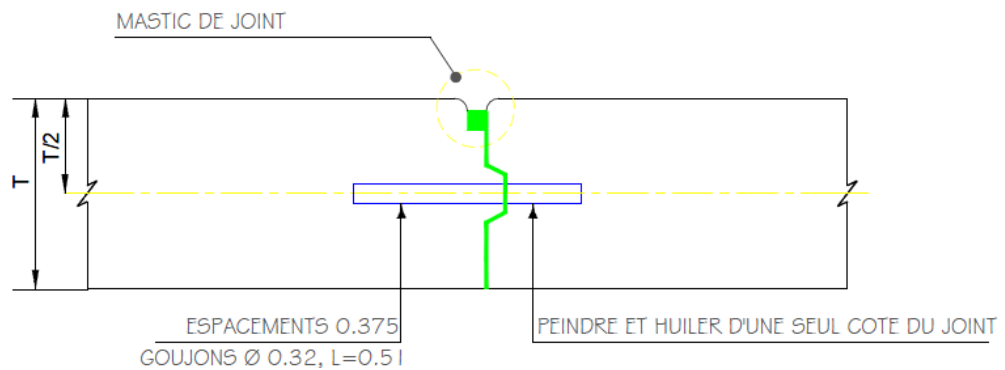


Figure 59 : Joint de construction avec goujon.

Insister sur la vibration du béton contre le coffrage sur son épaisseur totale. Le béton réalisé à la main pour ces joints d'arrêt peut être surdosé en ciment (+20 kg) pour travailler à résistance constante notamment sur aéroports ; en effet la mise en œuvre manuelle nécessite d'utiliser un béton plus plastique qu'à la machine et ceci est généralement obtenu en rajoutant de l'eau et l'énergie de vibration est inférieure que celle de la machine malgré les précautions habituelles.



Figure 60 : Béton réalisé à la main sur la piste principale.

Contrôler la planéité obtenue avec une règle de 4 m.

Le lendemain apporter le même soin à la vibration le long du joint décoffré et protégé par du produit de cure ou une émulsion de bitume.

Temps de remise en service : 2 jours

Remarque : Le joint sera traité comme les joints de retrait du reste de la chaussée, notamment, l'amorce sera élargie par sciage.

2.3.2. Joints longitudinaux

a. Entre deux chaussées en dalles

➤ **Domaine d'emploi :**

La construction soit au cours d'une même opération, soit à plusieurs années d'intervalle, d'un élargissement d'une chaussée en béton de ciment à joints goujonnés ou non, d'une piste ou d'une aire de stationnement ou de tout aménagement réalisé en bandes adjacentes de plus de 15 m de large, chaque bande de plus de 5 m de large comportant aussi des joints longitudinaux de retrait.

➤ **Description du joint :**

Il s'agit généralement d'un joint conjugué ne comportant pas de dispositif d'amélioration du transfert de charge.

Si les joints transversaux de l'aménagement comportent des goujons, le joint de construction comportera au minimum des fers de liaison s'il s'agit d'un joint conjugué (une « clé » préexiste). Sinon, en l'absence de clé, et dans les cas de charges très lourdes ou très fréquentes, il comportera des goujons.

La clé et les fers de liaison ou les goujons (sans clé) peuvent avoir été posés dans l'aménagement élargi (construction dans le cadre de la même opération par exemple) ou scellés dans des forages (élargissement plusieurs années après la mise en service). [13]

➤ **Méthodologie d'exécution :**

Si nécessaire, les fers de liaison ou les goujons sont scellés dans des forages horizontaux de diamètre légèrement plus grand pour permettre leur introduction facile avec le produit de scellement.

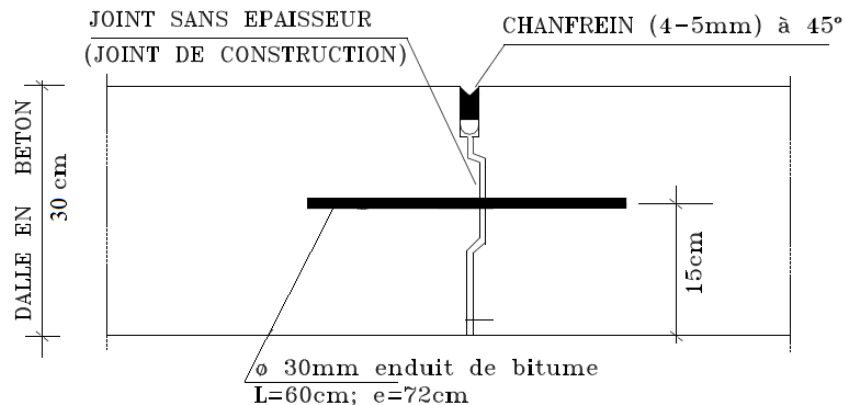


Figure 61 : Joint de construction longitudinal.

Ensuite, le béton est mis en œuvre à la MCG ou à la main ; l'ensemble ou le haut du joint près de la surface est protégé par une pulvérisation de produit de cure par exemple, afin de limiter l'adhérence du nouveau béton sur l'ancien, et jouer ainsi le rôle d'amorce de fissuration. Le « réservoir » du produit d'étanchéité est scié après durcissement du béton si nécessaire.

b. Entre deux chaussées de structures différentes (béton/béton ou béton/enrobé)

Les deux structures sont généralement séparées par un joint préformé mis en place sur la structure existante au moment de la réalisation de l'autre (voir figure 62).

Le procédé est applicable dans la plupart des cas : structure neuve bitumineuse le long d'une structure ancienne en béton conservée, structure neuve en béton le long d'une structure ancienne bitumineuse conservée. Parfois le joint préformé peut avantageusement remplacé par une couche d'accrochage (émulsion de bitume) pulvérisée sur le flanc de la structure conservée.

Néanmoins, ce procédé ne permet pas d'assurer un quelconque transfert de charge entre les deux structures : il faut bien vérifier que ce transfert n'est pas nécessaire ni ne le deviendra.

Dans tous les cas, l'étanchéité n'est pas assurée : il faut la réaliser en sciant le logement du produit d'étanchéité à cheval sur les deux structures, puis en le remplissant.



Figure 62 : Joint de dilatation transversal goujonné.

2.4. Joints de dilatation

a. Domaine d'emploi :

Dans le cas où l'extrémité ou le bord libre de la piste est situé au voisinage immédiat d'une autre chaussée et qu'il est nécessaire de protéger contre la poussée de la chaussée en béton lorsque celle-ci se dilate.

b. Description du joint :

Il s'agit en fait d'un **joint transversal de construction avec goujons** dans lequel on introduit une épaisseur suffisante de matériau compressible (élastique et durable) verticalement entre les deux dalles adjacentes au joint.

Contrairement aux joints de construction qui peuvent être inclinés comme les joints sciés, les joints de dilatation sont toujours perpendiculaires à la chaussée.

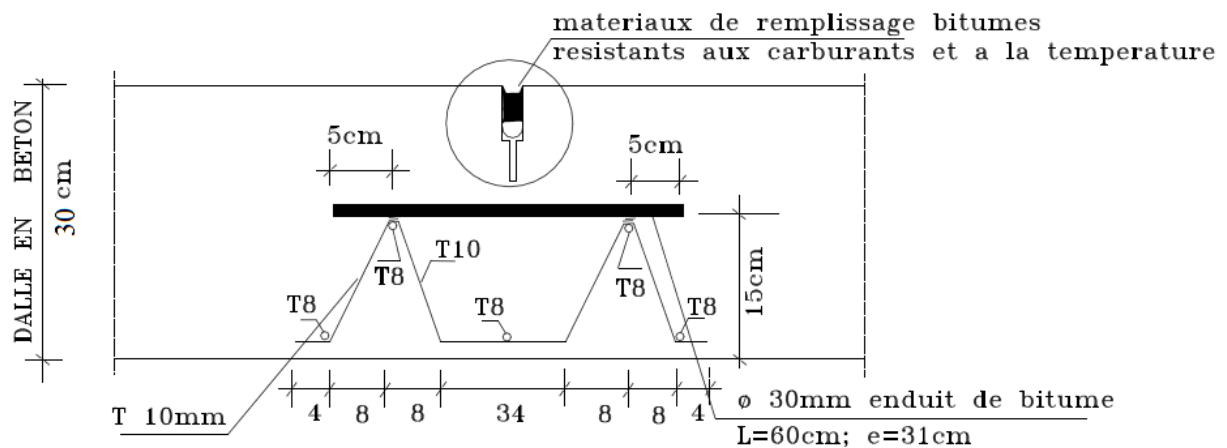


Figure 63 : Joint transversal avec goujons utiliser au long de la piste renforcée.

c. Méthodologie d'exécution :

En premier lieu, sur la partie de la chaussée réalisée en premier (chaussée précédente ou dalle d'approche de l'ouvrage par exemple), on réalise un joint de construction goujonné.

Après décoffrage, on introduit contre la face verticale de la dalle le matériau compressible dont l'épaisseur est de l'ordre de 1 à 2 cm : mousse de polyéthylène à pores fermés par exemple, de densité comprise entre 55 et 60 kg/m³. Cette "planche" de matériau compressible comporte évidemment le passage des goujons déjà en place. La "planche" s'arrête à environ 2 cm de la surface de la chaussée et est complétée d'une languette qui, une fois l'autre dalle coulée, sera enlevée pour permettre de mettre en place l'étanchéité (ou le polyéthylène est brûlé sur 2 cm).

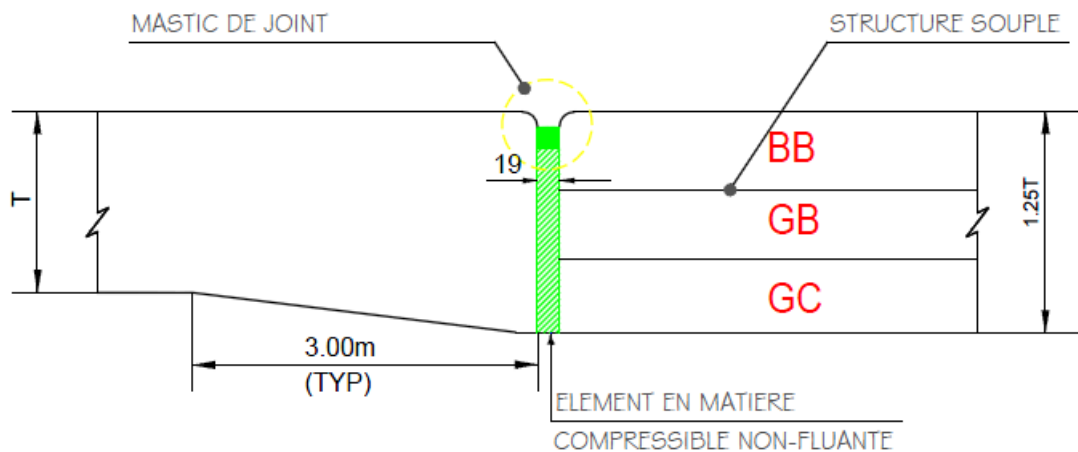


Figure 64 : Joint de dilatation.

Généralement il y a plusieurs plaques de matériau compressible sur la largeur de la chaussée. Il faut alors traiter les points particuliers que sont la jonction entre deux plaques de matériau compressible ainsi que la jonction entre la plaque et les goujons. Il faut assurer une étanchéité parfaite au niveau de ces jonctions en les garnissant de plâtre par exemple, pour qu'il n'y ait pas de fuite de béton. Si malgré cela il y a des fuites, le béton entre les plaques ou entre les plaques et les goujons, doit être éliminé avant le coulage de la dalle suivante.

d. Matériaux :

En dehors du béton du revêtement et du produit d'étanchéité utilisés pour le reste du chantier, il faut disposer de goujons et d'un coffrage adapté, ainsi que du matériau compressible : il s'agit mousse de polyéthylène à pores fermés par exemple, de densité comprise entre 55 et 60 kg/m³.

e. Précautions particulières :

L'ouverture des joints de dilatation (l'épaisseur de la "planche") doit être adaptée à la température d'exécution : l'ouverture doit être plus importante lorsque la chaussée est réalisée l'hiver que si elle est réalisée l'été.

3. Particularités des revêtements aéroportuaires

Les revêtements aéroportuaires se différencient des revêtements routiers notamment :

1. par la charge par roue qui peut être très élevée (plus de 200 kN-20 t) et la pression de gonflage (plus de 1 MPa-10 bar),
2. par la vitesse des aéronefs qui voisine 300 km/h notamment à l'atterrissage.

Ces conditions favorisent la production d'éclats de béton par l'épaufrage des bords de joints au passage des charges ; les réacteurs, assez proches du revêtement, sont d'énormes aspirateurs et particulièrement sensibles aux impuretés solides qu'ils pourraient ingérer ainsi.

Pour limiter ce risque, les joints sciés de revêtements aéroportuaires sont chanfreinés. [13]



Figure 65 : Joints chanfreinés.

En outre les produits de garnissage doivent être résistants au kérosène et au glycol dans les zones d'utilisation de ces produits.

Pour le reste, les spécifications des joints de revêtement aéroportuaire sont identiques à celles des joints de chaussées rigides routières.

Attention aux surfaces de stationnement qui peuvent nécessiter des joints de dilatation dans les deux directions (sens de mise en œuvre et perpendiculairement), par tranche de surface de l'ordre de 1500 à 2000 m². Etant réalisées par bandes successives : des bandes primaires et des bandes de remplissage, dont la jonction peut poser quelques problèmes de planéité. Il est indispensable que les bords de dalles des bandes primaires soient plans et rectilignes pour obtenir une surface uniforme. Ces bandes primaires peuvent parfois nécessiter de reprendre par sciage les bords de dalle affaissés et/ou tortueux, avant le coulage des bandes de remplissage. [13]

4.Établissement des solutions de réparation de la chaussée

Avant de donner les solutions de réparation, juste un aperçu sur le type de dégradation qui affecte la couche de revêtement de la piste et les causes probables de ces désordres.

Il est important de noter que les chaussées se dégradent essentiellement sous l'effet des sollicitations dynamiques et thermiques et l'accentuation et l'évolution des dégradations sont également liées à la nature et à l'épaisseur des matériaux utilisés et de leurs conditions de fabrication et de mise en œuvre, et il existe des dégradations qui apparaissent indépendamment du trafic et du climat et qui sont liées à l'instabilité du support de la chaussée.

Le revêtement rigide de la piste principale montre un état de surface plus au moins dégradé, dont le taux des dalles endommagé est de l'ordre de **2 %**.

La partie la plus affectée est celle de la bande centrale sur 1000 à 1500 m du côté du seuil 16. Les différents types de dégradations recensés au niveau de la surface de la piste ainsi que leurs causes probables se résument comme suit :

- **Des fissures longitudinales** parallèles à l'axe qui dénotent un signe de fatigue lié aux sollicitations mécaniques et thermiques.



Figure 66 : Fissure longitudinale parallèle à l'axe de piste.

- **Des fissures transversales** qui par endroit traversent toute la largeur de la dalle, elles sont probablement liées au retrait thermique en cas de sciage tardif ou inexistant, à la fatigue sous l'effet de l'accumulation de contrainte de traction par flexion excessive et à l'absence d'entretien de l'étanchéité.



Figure 67 : Fissure transversale qui traverse toute la largeur de la dalle.

- Ajoutons ainsi la présence **des cassures d'angle** qui peuvent être la conséquence d'un sciage tardif ou bien un mauvais appui du coin de la dalle, l'évolution de ce type de dégradation à donner naissance à des arrachements des morceaux de dalles et départ de matériaux ainsi que des épaufrures qui peuvent être aussi le résultat d'une mauvaise construction du joint et l'absence de traitement de fissure.



Figure 68 : Cassures d'angle en coin de dalle dans la piste principale.

- **La fissuration en coin** de dalle est induite sous l'effet de l'accumulation de contrainte de traction par flexion à la base des dalles.



Figure 69 : fissuration en coin de dalle dans la piste principale.

- **Les joints** sont dans l'ensemble dépourvus de produit de garnissage, ce qui favorise l'apparition de dégradations par l'effet soit d'infiltration d'eau, soit d'intrusion des corps étrangers.



Figure 70 : Joint entre dalles en mauvais état.

- A ces désordres s'ajoute **le dépôt de gomme** qui affecte la rugosité de la couche de roulement et la détérioration de la peinture de la signalisation horizontale.

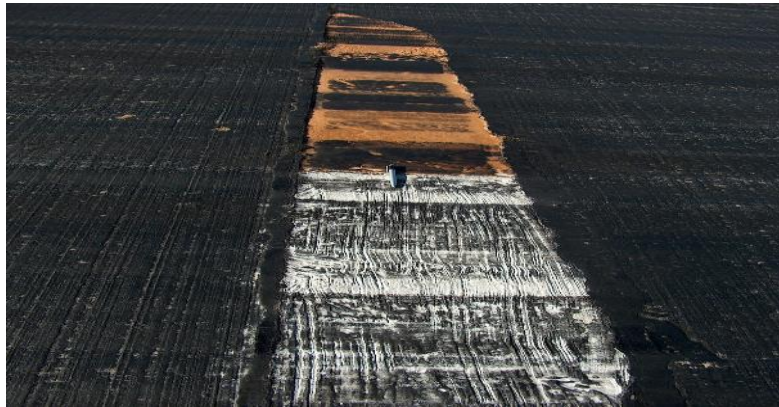


Figure 71 : Dépôt de gomme sur le début de piste 34R.

De ce qui précède on peut conclure que le degré de gravité est faible à moyen et les dégradations observées dénotent une faiblesse structurelle due à la fatigue et aggravée par les infiltrations des eaux à travers les fissures et les joints défectueux dont l'intervention à court terme est indispensable afin de réparer les dalles endommagées et d'assurer une bonne étanchéité. [12]

4.1. Les solutions et traitements appliqués

Alors le traitement à appliquer dépend de la nature de la position et de l'état de la dégradation concernée.



Epaufreure

Joint défectueux

Fissure fine

Cassure de dalle

Figure 72 : Types de dégradations à réparer.

4.1.1. Epaufreure



1

Délimitation de la zone à traiter par sciage et enlèvement par burinage ou piquage du béton fissuré, décollé jusqu'au béton sain



2

Nettoyage par brosse, soufflage et séchage du plan de collage



3

Mise en place du coffrage polystyrène sur toute la hauteur du joint, application du primaire d'accrochage et application d'un matériau de résine époxy



4

Matage, lissage de la surface supérieure et création du chanfrein coté joint

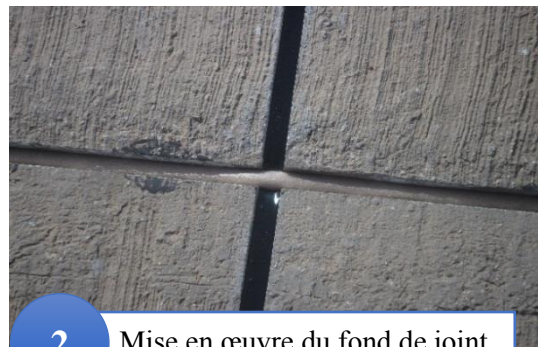
Figure 73 : Les étapes de réparation d'une épaufreure.

4.1.2. Joint transversal, longitudinal et de rive entre la chaussée et l'accotement



1

Enlèvement d'éventuel ancien fond de joint et nettoyage des lèvres du joint à l'aide d'une brosse métallique et d'un jet d'air comprimé



2

Mise en œuvre du fond de joint



3

Application du produit de garnissage

Figure 74 : Les étapes de réparation d'un joint défectueux.

4.1.3. Fissures transversales et longitudinales fines



Fissure d'une gorge à la partie supérieure de la fissure et application d'un produit élastique

Figure 75 : Réparation d'une fissure fine.

4.1.4. Remplacement de dalles défectueuses ou parties de dalles

Depuis quelques années, la piste principale de l'aérodrome de Laghouat est l'objet d'une surveillance attentive de la part des spécialistes du service technique de l'aérodrome, qui, régulièrement, l'auscultent, la sondent et lui prodiguent de plus en plus souvent des soins superficiels, mais indispensables (voir figure 76).



Figure 76 : Soins superficiels au niveau de la piste 16L/34R.

C'est un signe des temps, cette piste d'un âge bientôt respectable vieillit chaque jour un peu plus, et doit pour continuer à satisfaire ses usagers se résoudre à subir une réfection en profondeur, dans ses parties les plus endommagées. L'entretien courant ne suffit plus. L'heure est à l'intervention lourde. Parallèlement à cette décision technique, le choix de la meilleure date pour réaliser le chantier n'est pas facile, car les quelques mois de fermeture ont des conséquences opérationnelles et économiques importantes malgré que la piste secondaire reste toujours en service.

a. La structure existante

La piste de l'aérodrome de Laghouat a été construite en béton de ciment en 1985 selon la méthode dite californienne sur une longueur totale de 3800 m et une largeur de 45 m. Sa structure est : 32 cm de béton de ciment.

La chaussée est composée de dalles de 5 m de largeur et de 5m de longueur. Le profil des joints de construction est du type rainure pour longitudinaux, et goujonnés pour les transversaux.

b. Choix de la solution

La solution de rénovation envisageable est le maintien de la structure rigide par reconstruction partielle des dalles à l'identique en béton de ciment ;

Cette solution présente l'avantage de n'avoir à démolir et reconstruire partiellement que les 36 dalles affectées, et donc de conserver la piste dans son aspect actuel.

Après une étude technique, nous avons opté pour la reconstruction en structure rigide selon le processus suivant les zones de la piste affectées par les dégradations :

- démolition du béton existant ;
- réglage du fond de forme ;
- mise en place d'une fondation en béton maigre ($e = 5$ cm) ;
- goujonnage des joints de construction en contact avec les parties conservées ;
- bétonnage d'une dalle de 32 cm d'épaisseur.

Les dalles auraient comme dimensions 5 m x 5 m.

c. Déroulement des travaux

L'opération consiste à remplacer soit une ou des dalle(s) défectueuse(s) soit une partie de celles-ci. A commencer par la démolition du béton de la zone affectée, la remise en état du coffre et des joints avec les dalles adjacentes jusqu'au bétonnage de la zone en s'intégrant dans le profil existant.

La réparation s'effectue sur une longueur de minimum 1.5 m chevauchant la partie défectueuse.

1) Démolition des structures existantes

La réparation nécessite la démolition du béton de la zone défectueuse, sans abîmer ni le béton adjacent ni la fondation (voir figure 77), la zone à démolir est délimitée par deux joints, par un joint et un trait de scie ou par deux traits de scie, en plus :

- Les traits de scie sont perpendiculaires à la surface du revêtement et à l'axe longitudinal de la chaussée.
- Les dalles sont sciées sur toute leur épaisseur et largeur.
- Les faces sont verticales et propres.
- Les parties de dalle non démolies ne peuvent être inférieures à 1.5 m.
- Si nécessaire, la fondation existante est remise en état.

Pour se faire, et pour réaliser la démolition d'une partie de dalle dans les règles de l'art, il faut :

- assurer la décompression des dalles béton existantes la destruction. (Cette disposition garantissait le soin nécessaire à la démolition au niveau des dalles conservées) ;
- démolir le béton des dalles en blocs de petite taille avant évacuation ;
- charger ces blocs sur camion ;



Figure 77 : Démolition d'une dalle pour réparation (piste 16L/34R).

2) Préparation du support

Le béton en place présente une surface apparente saine purgée de tout éclat (voir figure 78). Après un compactage du fond de forme, 7 cm de GNT 0/20mm mélangé avec 4% de ciment CPJ ont été mis en place. [12]



Figure 78 : Une fondation en béton maigre mise en place (piste 16L/34R).

3) Joints

Trois types de joints ont été réalisés :

- joints de retrait transversaux goujonnés, avec goujons de 40 mm de diamètre (longueur=0,50 m ; espacement=0,40 m) placés à mi-épaisseur de la dalle.

- joints de construction longitudinaux goujonnés (raccordement avec le dallage béton conservé) ;
- joints de dilatation aux extrémités des bandes.



Figure 79 : Remplacement des goujons (piste 16L/34R).

La mise des goujons se fera après forage de la dalle.

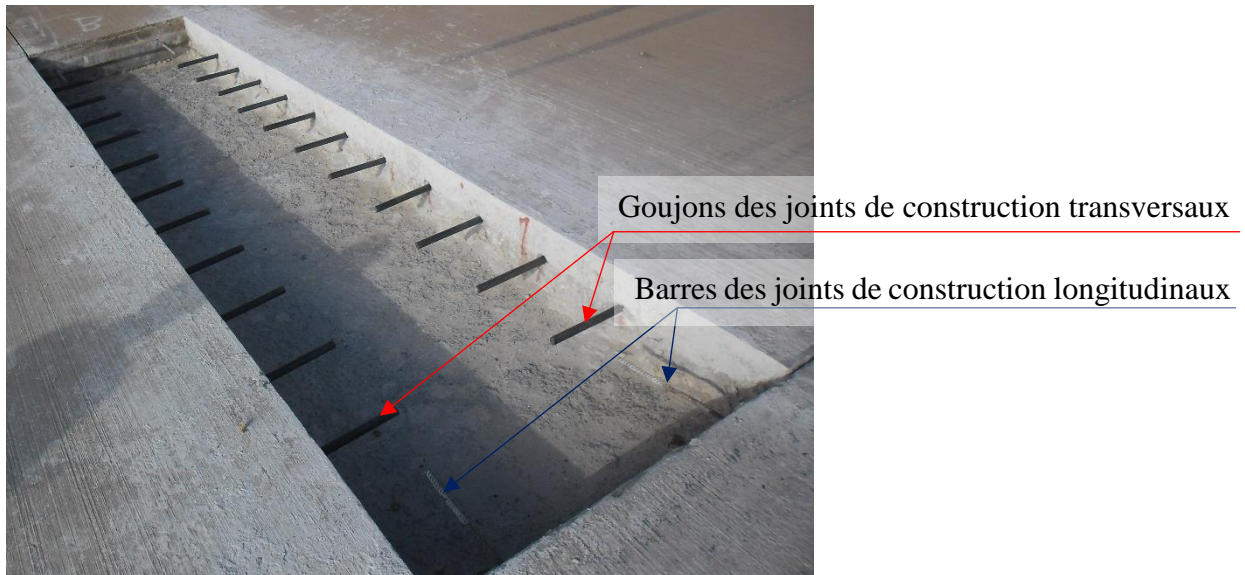


Figure 80 : Goujons et barres d'ancrage (piste 16L/34R).

4) Bétons

La mise en œuvre des deux bétons, à savoir le grave béton et le béton de ciment, a été effectuée manuellement en pleine largeur de chaque dalle à réparer soit 05 m, et aux différentes longueurs.

➤ Formulation et performance des bétons

Exigences de performances du béton (LTPS) :

	Béton maigre	Béton de revêtement
Résistance à la traction par fendage à 28 jours	>1.5MPa	>3.0Mpa

➤ **Volumes de béton**

	Épaisseur	Volume
Grave ciment	05 cm	101 m ³
Béton de ciment	32 cm	644 m ³

➤ **Mise en œuvre des bétons**

Ensuite, un produit de cure a été appliqué afin de protéger efficacement la surface du béton et d'éviter toute dessiccation superficielle du béton.

Autre disposition particulière a été prise afin d'éviter la fissuration précoce du béton, il s'agit de couvrir la partie du béton nouvellement mis par d'une membrane plastique jusqu'à l'obtention de la résistance maximale (voir figure 81).



Figure 81 : Nouvelle dalle couverte par une membrane plastique.

La circulation n'est rétablie qu'après accord du fonctionnaire dirigeant.

La réparation ne peut présenter aucune fissure.



Figure 82 : Une nouvelle dalle réparée (piste 16L/34R).

4.2. Règles et recommandations à respecter

Afin de réaliser un traitement satisfaisant et dans les règles de l'art, les recommandations suivantes doivent être prises en compte :

- La démolition du béton du revêtement existant doit être effectuée sans déranger la partie de la dalle conservée.
- Les joints d'extrémité entre l'ancien et le nouveau béton seront conçus comme des joints de construction.
- La réalisation du chanfrein est une sécurité contre l'apparition d'épaufrure.

Les parties des dalles à évacuer seront tout d'abord fracturées puis la frange restante à proximité du joint sera éliminée avec précaution, le bord des dalles adjacentes conservées sera ainsi protégé d'éventuelle épaufrure pendant l'évacuation des matériaux de démolition.

Conclusion

Vu l'importance de l'aérodrome de Laghouat dans la contribution au développement régional et national, et après une étude détaillée de notre projet qui consiste à renforcer cette infrastructure nous sommes arrivés à conclure que l'aérodrome de Laghouat, notamment la piste principale 16L/34R, nécessite en effet un renforcement afin qu'il soit plus opérationnel et performant et répondre aux exigences nécessaires en toute sécurité.

Les différentes investigations effectuées sur la piste principale de l'aérodrome de LAGHOUAT révèlent que cette dernière est touchée par des dégradations structurelles qui n'affectent pas la portance de la chaussée. Ces dégradations sont liées au vieillissement, et au fait que les joints sont restés sans intervention pendant plusieurs années, alors que les joints de revêtement en béton sont des éléments destinés à maîtriser le retrait du béton et assurer l'étanchéité du revêtement, dont l'intervalle d'entretien sous fort trafic est indispensable tous les cinq ans.

Le traitement de la surface de la chaussée est indispensable afin d'arrêter l'évolution de l'état de dégradation qui pourra entraîner des désordres importants qui vont affecter la sécurité des appareils. Plusieurs types de traitement ont été arrêtés en fonction du type et de degrés de gravité des dégradations. L'entretien périodique (entretien des joints) aura pour effet de ralentir le processus de dégradation de la chaussée par conséquent éviter à terme des réparations importantes et plus coûteuses et contribué à l'allongement de la durée de vie de la chaussée.

Enfin, ce projet nous a permis d'acquérir des expériences sur l'élaboration d'une étude de renforcement d'infrastructures aéroportuaire, et aussi nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine des chaussées rigides en bétons de ciment.

Bibliographie

- [1] Revue du ministère de l'Écologie, du Développement durable des Transports et du Logement (France) Pour mémoire n°9 - extraits - comité histoire du MEDDE.
- [2] Site web www.wikipedia.com : Aérodrome.
- [3] Site web www.planete-tp.com : Ouvrages > Aérodromes-Aéroports > Histoire, publiée le 17 septembre 2007.
- [4] Entretien des chaussées en béton (LCPC).
- [5] Guide technique _ Entretien des chaussées en béton _ Chaussées routières et aéronautiques _octobre 2002.
- [6] Instruction technique sur les aérodromes civils (ITAC).
- [7] Catalogue des structures types de chaussées neuves (LCPC, 1994).
- [8] Service technique de l'aviation civile (France) Suivi et gestion des chaussées.
- [9] Catalogue des dégradations de surface de chaussée, méthode d'essai n°52 (LCPC).
- [10] Etude d'expertise de la piste principale 16/34 de l'aérodrome de Laghouat (SAETI).
- [11] Rapport de contrôle géotechnique de la piste principale 16L/34R (LTPS).
- [12] Guide pratique sur les joints : règles de l'art et dispositions constructives pour revêtements et ouvrages linéaires en béton de ciment Spécialistes de la Chaussée en Béton et des Aménagements (SPECBEA).
- [13] Techniques de l'Ingénieur, Aérodromes, Service technique des bases aériennes (STBA).
- [14] Site web www.wikitp.com, article : Essais à la plaque - EV2 du 22/06/2015.