

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



Université KASDI MERBAH – OUARGLA



Département de Genie civil et Hydraulique

Faculté des sciences appliquées

Mémoire de Fin d'Etudes Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie civil

Option : Etude et Contrôle des Bâtiments et Routes

(ECBR)

THEME :

## ETUDE DU RENFORCEMENT DE L'AERODROME D'IN-SALEH

Présenté par :

- BOUZID AHMED MOUNIR
- GHREIB YACINE ABD ELMALEK

Mr. KHELLOU A.R.	M.A.A.	UKMO	Président
Mr. MOUDJAHED N.	M.G.C	LTPSUD	Examineur
Mr. ABIMOULOUD .Y.	M.A.A.	UKMO	Promoteur
Mr. ELGAROUY Y.	M.A.A.	LTPSUD	Co-Promoteur

Année Universitaire : 2016/2017

## Dédicaces

### **Je dédie ce modeste travail :**

A celle qui m'a mis au monde et accompagné durant les moments difficiles au long de mon cursus scolaire et universitaire.

A mon père qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans mes études, celui qui est resté à mes cotés toujours dans ma vie.

A ma sœur AICHA ET a mes frères

A toute ma famille.

A défunt, mon grand frère DJAMEL et au nouveau-né DJAMEL que dieu le garde.

A tous mes professeurs sans lesquels l'aboutissement de cette formation n'aura pas été possible.

A mon binôme et tous mes amis de l'option ECBR.

Aux combattants pour le savoir, la paix, la liberté et la démocratie.

## **Dédicaces**

Louange à DIEU qui nous a permis de réaliser ce travail.

### **Je dédie ce modeste travail :**

A celle qui m'a mis au monde et accompagné durant les moments difficiles au long de mon cursus scolaire et universitaire.

A mon père qui a sacrifié sa vie afin de me voir grandir et réussir dans mes études, celui qui est resté à mes côtés toujours dans ma vie.

A ma sœur Zahia ET A mes frères

A toute ma famille Ghreib

A tous mes professeurs sans lesquels l'aboutissement de cette formation n'aura pas été possible.

A mon binôme et tous mes amis de l'option ECBR (Ben. Nacreddine, Ch. Imène)

## Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier le bon Dieu, le clément et le miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions vivement nos encadreurs Monsieur ELGAROUY YUCEF Responsable de département géophysique LTPS Ghardaïa et Monsieur ABIMOULOUD YUCEF Maître assistant à l'université Kasdi-Merbah Ouargla.

Notre gratitude va également à Monsieur AMIEUR ABDENASSER ET BOUZID MOHAMMED BACHIR pour leur aide et leur encouragement.

Que tous les membres du LTPSUD Ghardaïa, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants et le personnel à l'université de KASDI MERBEH OUAREGLA.

Nous aimerions exprimer notre gratitude envers tous ceux qui ont, de diverses façons, de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce travail.

## Sommaire

<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>Chapitre I : présentation</b>	
I .1 Présentation	3
I .2 Photo satellitaire de l'aérodrome	3
I .4 Définitions	6
I .5 Destination des aérodromes	6
I .5 .1 Classification des aérodromes	6
I .5 .2 Types des chaussées	6
<b>Chapitre II : Auscultation des chaussées</b>	
II. Introduction	9
II.1 auscultation visuelle (relevé de dégradation)	9
II.1.1 Généralités sur les dégradations des chaussées aéronautiques	9
II.1.2 Type et définition des dégradations	9
II.1.3 Facteurs généraux influant sur les dégradations des chaussées	16
II.1.4 Méthode PCI (Pavement Condition Index) ou indices de service(IS)	17
II.2 Auscultation des chaussées aéronautiques au HWD	20
II.3 Auscultation avec profilomètre Uni	22
II.4 Reconnaissance géotechnique	24
<b>Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah</b>	
III.1 Auscultation visuelle	27
III.1.1 Synthèse du relevé visuel de dégradation de l'aérodrome d'in Salah	27
III.2 Auscultation de la chaussée au HWD	31
III.3 Auscultation avec profilomètre	37
III.4 Reconnaissance géotechnique	39
III.5 Conclusion	45
<b>Chapitre IV : Etude géotechnique</b>	
Introduction	48
IV.1 Essais d'identification	48
IV.2 Essais mécaniques	49
IV.3 Analyse des enrobés	51
<b>Chapitre V : Dimensionnement</b>	
V.1 Constitution des chaussées aéronautiques	53
V.2 Rappel sur les méthodes de renforcement	53
V.3 Calcul de renforcement	54
V.3.1 Méthode ACN/PCN	55
V.5 Renforcement à l'aide de HWD	59
V.5.2 Solutions proposées	59
<b>Conclusion</b>	<b>62</b>
<b>Annexe</b>	

## Liste des tableaux

### Chapitre II

<b>Tab1</b> : Dégradations dans corps de chaussée	18
<b>Tab2</b> : IS et niveau de service	19

### Chapitre III

<b>Tab.01</b> : Tableau des profils	32
<b>Tab.02</b> : Tableau récapitulatif des déflexions enregistrées du pm0+000 au pm 0+600	32
<b>Tab.03</b> : Tableau récapitulatif des déflexions enregistrées du pm0+600 au pm 3+000	33
<b>Tab.04</b> : Tableau récapitulatif des modules en surface enregistrées du pm0+000 au pm 0+600	33
<b>Tab.05</b> : Tableau récapitulatif des modules en surface enregistrées du pm0+600 au pm 3+000	34
<b>Tab.06</b> : Tableau récapitulatif des modules des couches obtenus du pm0+000 au pm 0+600	36
<b>Tab.07</b> : Tableau récapitulatif des modules des couches obtenus du pm0+600 au pm 3+000	37
<b>Tab 08</b> : les profils	37
<b>Tab 9</b> : Tableau de valeur d'IRI	38
<b>Tab10</b> : Tableau de valeur d'IRI max	39

### Chapitre IV

<b>Tab 1</b> : Tableau résultats des analyses de sol	50
--	----

### Chapitre V

<b>Tab1</b> : caractéristiques d'avion critique	55
<b>Tab 2</b> : les coefficients d'équivalences	57
<b>Tab 3</b> : Epaisseur équivalente	57
<b>Tab 4</b> : Durée de vie et Renforcement	59

## Liste des figures

### Chapitre I

<b>Fig. 1 :</b> Photo satellitaire de l'aérodrome	4
<b>Fig. 2 :</b> Piste d'aérodrome in Salah	5
<b>Fig. 3 :</b> Types de chaussées	7

### Chapitre II

<b>Fig. 1 :</b> HWD (Heavy WeightDéflectomètre)	20
<b>Fig. 2 :</b> Schéma du principe de l'essai HWD.	21
<b>Fig. 3 :</b> Profilomètre inertiel	22
<b>Fig. 4 :</b> Principe de mesure	23

### Chapitre III

<b>Fig. 1 :</b> Profiles a ausculté au HWD	31
<b>Fig. 2 :</b> Profils ausculte APL	38
<b>Fig.3 :</b> Profiles de campagne géotechnique	40
<b>Fig. 4 :</b> Photo satellite suivante mise en évidence les positions des puits implantés.	45

### Chapitre IV

<b>Fig. 1 :</b> Différentes couches de chaussée	51
---	----

### Chapitre V

<b>Fig. 1 :</b> Boeing 737 – 800	55
<b>Fig.2 :</b> valeur ACN	56

## Liste des abréviations

**OACI** : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

**STBA** : service technique des bases aériennes

**PCI** : Pavement Condition Index

**IS** : indices de service

**HWD** : Heavy Weight Déflectomètre

**IRI** : International Roughness Index

**BBI** : Boeing Bump index

**ELMOD** : Elévation Layer Moduli Overlay & Design

**M.E.T.** : Method of Equivalent Thicknesses

**FEM**: Finite Element Method

**LET**: Linear Elastic Theory

**MET**: Method of Equivalent Thickness

**WESLEA** : Water way experiment station's

**CBR** : Californien bearing ratio

**GB** : Grave Bitume

**BB** : Béton Bitumineux

**GNT** : Grave Non Traité

**RSI** : roue simple isolée

**RSE** : une roue simple équivalente

**ACN** : Aircraft Classification Number

**PCN** : Pavement Classification Number



### **: الملخص**

تستند هذه الدراسة إلى حساب التدعيم بطريقتين. الأولى طريقة الأولوية أما الثانية فباستخدام برنامج ELMOD 6 هذه الأخيرة تستند إلى كمية التدهور و مستوى الخطورة

التسمع أن يكون العديد من طريقة: البصرية. وHWD. profilometer. والجيوتهنية

**الكلمات المفتاحية:** التدهور ، المعاينة المكانية، عينة

### **Abstract :**

This study is based on the calculation of the reinforcement with 2 methods, the first one is the normal computation method (ACN .PCN) and the second one with the software ELMOD 6, the latter method based on the amount of degradations of a pavement and the level of severity

Auscultation is found with several methods: visual; HWD; Profilometer; And Geotechnical Recognition

**Keywords :** reinforcement, ACN .PCN, ELMOD 6, degradations ,profilometer, HWD,

### **Résumé :**

Cette étude basé au calcul le renforcement avec 2 méthodes, le 1<sup>ere</sup> est méthode de calcul normal (ACN .PCN) et la 2<sup>eme</sup> avec l'logicielle ELMOD 6, cette dernier méthode basé sur la quantité de dégradations d'un chaussée et le niveau de gravité

L'auscultation se trouver avec plusieurs méthode : visuelle ; au HWD ; au profilometre ; et reconnaissance géotechnique

**Mots clés :** ACN .PCN, ELMOD 6, profilometre uni, HWD, auscultation, chaussées souple

# **Introduction**

## **Général**

### **Introduction général**

Les infrastructures routières et aéronautiques de bonne qualité sont un facteur clé de succès pour le développement économique et social de nos pays. La maintenance de ces infrastructures pour lesquelles des investissements importants sont consentis est un défi à relever pour les pays, surtout pour ceux du tiers monde. Pour cela, la maîtrise de leur mode d'évolution et de dégradation est un élément incontournable.

Ces dernières années, l'Algérie a accumulé un retard dans le secteur des travaux publics. Aujourd'hui, la tendance a profondément changé et les grands projets qui sont en train d'être menés en ce moment en sont la preuve.

La wilaya de Tamanrasset n'a pas échappé à cette fatalité, elle a souffert de graves problèmes liés à la croissance du trafic et aux dégradations des infrastructures de transport existantes à l'instar de l'aérodrome d'IN SALEH. Actuellement, ces problèmes sont en voie de résorption grâce au boum économique que connaît l'Algérie en ce moment d'une part et d'autre part à des nouvelles politiques et visions fondées sur des projections tous azimuts qui commencent à apporter leurs fruits avec des projets déjà livrés et de nombreux autres en cours.

Cette mise à niveau des infrastructures nous a offert la chance d'en participer par le biais de notre projet de fin d'études, aussi bien à la rénovation qu'à l'innovation.

Notre projet de fin d'études s'intitule: Etude du renforcement de l'aérodrome d'IN-SALEH.

La présente étude se focalise sur le renforcement des infrastructures de l'aérodrome d'IN SALEH, afin d'aboutir à une solution innovante et économique, qui va nous permettre de lutter contre l'accentuation de la fatigue survenant aux chaussées de l'aérodrome face à l'intensité croissante du trafic d'une part et aux effets climatiques, d'autre part.

La première partie est consacrée à l'étude bibliographique sur les différentes dégradations des chaussées souple, avec comment décidé le cas de la chaussée et les solutions exiger dans notre cas

La deuxième est le partie pratique d'une notre cas (aérodrome d'IN SALAH) qui commence avec auscultation visuelle après une auscultation avec profilometre uni et au HWD .et fin on lever un prélèvement au sol support et le carottage dans le chaussée

En fin, nous calculons le renforcement avec les 2 méthodes et proposer des solutions pratique

# **Chapitre I :**

# **Présentation**

# Chapitre I : présentation

## I .1 Présentation

L'aérodrome de In-Salah est situé sur la commune d'In Salah, à 7 km au nord-est de la ville de In-Salah et à 1 257,5 Kms au Sud de la capitale d'Alger, l'aérodrome est constitué, d'une piste orientée 05/23 de 3000 m de longueur et de 45 m de largeur, une bretelle, un parking ainsi qu'une aérogare.

L'aérodrome In-Salah a été construit entre 1952 et 1954 par la France, cette action a consisté à réaliser une piste 05/23 d'une longueur de 1800 m et d'une largeur de 45 m avec Des accotements de 7.5 m de chaque coté

En 1973 l'Algérie a été prolongée la piste a 2400 m avec la même largeur

En 1996 la piste a été prolongée à 2700 m et en 2001 la piste a augmenté et la piste est égale 3000 m et largeur est 45 m

Dans l'année 2007 la piste renforcé par un béton bitumineux de 6 cm d'épaisseur

## I .2 Photo satellitaire de l'aérodrome



Fig. 1 : Photo satellitaire de l'aérodrome

## I.3 Présentation de l'aérodrome

- **Nom de l'aérodrome : Aérodrome d'In Salah**
- **Wilaya d'implantation : Tamanrasset**
- **Classe: A (selon la classification de l'Organisation de l'Aviation Civile)**

## Chapitre I : présentation

---

Internationale).

- Statut : Civil
- Situation géographique : L'aérodrome est situé à 7 Kms au nord-est de la ville D'In-Salah
- Piste principale : 05/23
- Longueur de la piste : 3000 m
- Largeur de la piste : 45 m
- Largeur de l'accotement de la piste : 7.5 m
- Température de référence : 45°
- Trafic (2016) : 728 avions
- Altitude de l'aérodrome : 273m

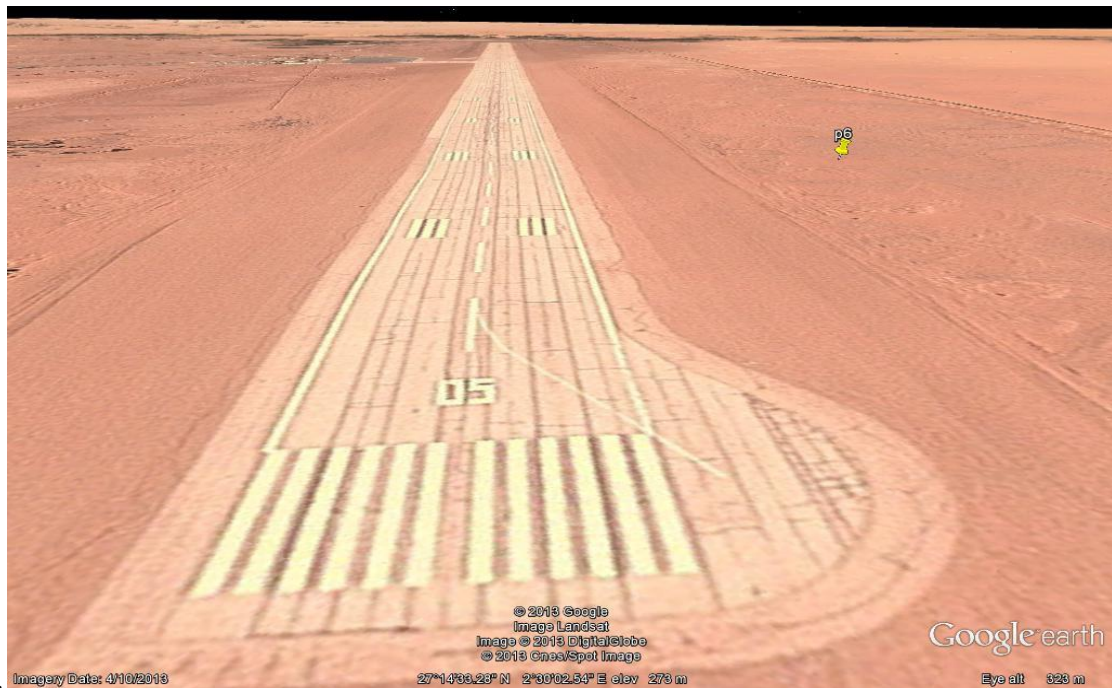


Fig. 2 : Piste d'aérodrome in Salah

# Chapitre I : présentation

---

## I .4 Définitions :

### Aérodrome :

Terrain aménagé pour l'atterrissage et le décollage des avions.

Il comporte, à cet effet, des pistes balisées, et dans certains cas, une tour de contrôle qui règle sa circulation aérienne, des bâtiments et des hangars. <sup>6</sup>

### Aéroport :

Ensemble d'installations techniques et commerciales destinées à permettre un trafic aérien important, le plus souvent international. Le terme d'aéroport est souvent employé à la place de celui d'aérodrome.

Tous les aéroports sont des aérodromes mais l'inverse n'est pas vrai. <sup>6</sup>

## I.5 Destination des aérodromes:

Suivant la destination, on peut classer les aérodromes en 03 catégories:

- 1. Les aérodromes civils
- 2. Les aérodromes militaires
- 3. Les aérodromes techniques

### I .5 .1 Classification des aérodromes :

L'OACI propose une classification et identification des aérodromes civils Basée uniquement sur la longueur de la piste:

- **Classe A** : piste de 2550 m et plus
- **Classe B** : 2150 -2550m
- **Classe C** : 1800 - 2150 m
- **Classe D** : 1500 - 1800 m
- **Classe E** : 1280 -1500 m
- **Classe F** : 1080 -1280 m
- **Classe G**: 900 -1080 m <sup>3</sup>

### I .5 .2 Types des chaussées :

Malgré leurs spécificités, les chaussées aéronautiques utilisent les mêmes matériaux que les chaussées routières moyennant certaines spécifications complémentaires mais aussi certaines exclusions, guidé par la nature du sol et par des considérations locales ainsi que par la nature de l'aire à construire (piste, abords ou prolongements de celle-ci, voie de circulation, aire de stationnement) et par le trafic qu'elle est destinée à recevoir, le choix du type de chaussée conduit toutefois généralement à ce que prévalant en faveur :

## Chapitre I : présentation

---

### a) Chaussées souples :

Le corps constructif ne comporte que des matériaux non traités ou traités aux liants hydrocarbonés, leurs avantages sont:

- L'intérêt économique certain qu'elles présentent pour des sols supports de bonne qualité, pour les prolongements et abords de piste et pour les infrastructures dédiées à l'aviation légère, compte tenu des épaisseurs de chaussée relativement faibles correspondant à ces différents cas.
- L'aptitude qu'elles ont à se prêter aux phasages de réalisation.<sup>3</sup>

### b) Chaussées semi-rigides :

On distingue :

- Les chaussées comportant une couche de base (et quelque fois une Couche de fondation) traitée aux liants hydrauliques (ciment, laitier granule...)
- Les chaussées comportant une couche de base et/ou une couche de fondation en sable gypseux on les rencontre fréquemment dans les régions arides.<sup>3</sup>

### c) Chaussées rigides :

Constituées par un ensemble de dalles en béton de ciment ou en béton précontraint, reposant sur une fondation également traitée aux liants hydrauliques :

- L'avantage technico-économique qu'elles présentent pour des sols support de qualité médiocre.
- Leur adéquation aux aires de stationnement soumises à d'importants efforts de poinçonnement ainsi qu'à de fréquents déversements d'hydrocarbures, de même qu'aux extrémités de piste d'où décollent certains types d'avions militaires dont l'inclinaison des Réacteurs entraîne des effets thermiques dévastateurs importants.
- Assure; la continuité de l'appui des dalles au droit des joints.
- contribuer contre le gel du sol support et de s'opposer à la montée des fines pour pompage au droit des joints.<sup>3</sup>

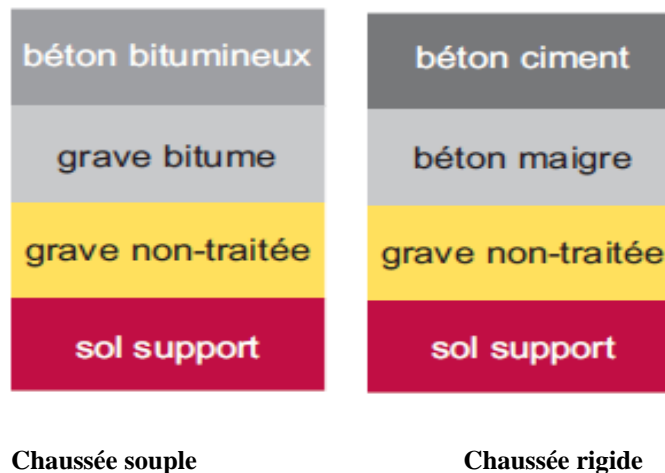


Fig. 3 : les types de chaussées



# **Chapitre II :**

## **AUSCULTATION DES CHAUSSEES**

### Chapitre II : Auscultation des chaussées :

#### II. Introduction

Les chaussées aéronautiques (pistes, voies de circulation, aires stationnement) constituent une part importante des infrastructures opérationnelle d'un aéroport. Afin de préserver et d'utiliser au mieux possible les chaussées de l'aéroport, nous avons jugé utile et primordiale de procéder à une étude d'évaluation des chaussées de notre aéroport, l'évaluation de ces dernières repose sur une série de mesures (déflexions, uni, adhérence...) et d'observations visuelles ou relevé visuel 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 de service technique des bases aériennes « STBA »

#### II.1 Auscultation visuelle (relevé de dégradation)

##### II.1.1 Généralités sur les dégradations des chaussées aéronautiques :

La cause principale des dégradations des chaussées aéronautiques est la fatigue sous l'action répétée des charges produites par le mouvement intensif des aéronefs et les contraintes d'origine thermique. Cette usure apparaît souvent sous forme de dégradations qu'on observe sur la surface des chaussées, et peut par conséquent se manifester comme des déformations avec ou sans fissurations des enrobés.

La fissuration dans le revêtement entraîne la pénétration des eaux jusqu'aux couches inférieures qui se saturent, et par conséquent engendrent une diminution de la portance du sol support par perte des caractéristiques mécaniques.

Ces dégradations sont causées principalement par le mauvais dimensionnement, les conditions de la mise en œuvre et les conditions d'exploitation, comme le trafic et le climat.<sup>1</sup>

##### II.1.2 Type et définition des dégradations :

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

- Les chaussées péricentent essentiellement par déformation sans fissuration des enrobés, ou par fissuration lorsque les enrobés sont suffisamment fissurés pour ne plus jouer leur rôle répartiteur, ou lorsque les deux phénomènes se combinent. Les fissures entraînent alors la pénétration de l'eau jusqu'aux couches inférieures non traitées qui se saturent, et par conséquent leur portance diminue on peut distinguer 4 groupes principaux de désordres dans une chaussée :

- ✓ **Les fissurations.**
- ✓ **Les arrachements.**
- ✓ **Les déformations.**
- ✓ **Autres dégradations.**

De manière à uniformiser les appellations, nous présentons une liste, qui ne serait être exhaustive, des principales dégradations des chaussées souples avec leurs dénominations habituelles et une définition pour chacune.<sup>2</sup>

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---

### II.1.2.1 Les fissurations :

**-Fissures de fatigue ou retrait** : fissures longitudinales apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs. Elles sont souvent accompagnées de fissures transversales à l'intervalle aléatoire et d'une dépression comme la montre la figure ci-après :



**-Faiencage de fatigue ou retrait**: cassure en milles du revêtement, les mailles ayant la forme de polygones dont la plus grande diagonale ne dépasse pas 60cm, comme la montre la figure ci-après :



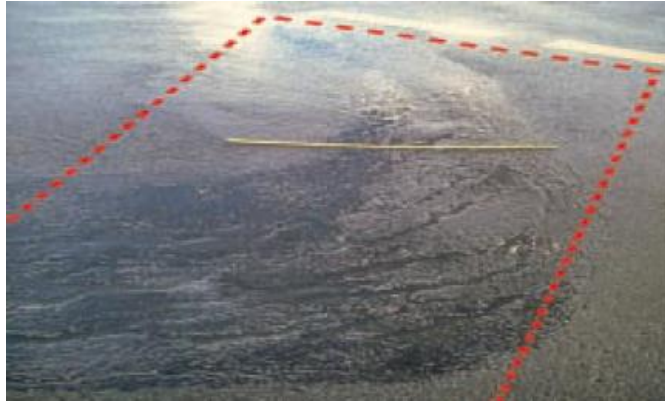
**-Fissuration des joints** : fissures situées sur un joint comme montré la figure ci-après :



**-Fissures paraboliques** : fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement ils peuvent être accompagnées bourrelets comme la montre la figure ci-après :

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---



- **Epaufure** : cassure du revêtement en bord de chaussée comme la montre la figure ci-après :



### II.1.2.2 Arrachements :

-**Pelade** : c'est le décollement de la couche de roulement par plaques plus ou moins grandes comme la montre la figure ci-après :



## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---

- **nids de poule** : cavité à la surface de la chaussée due à des départs de matériaux comme la montre la figure ci-après :



- **Dés enrobage / brulures** : séparation du mastic (liant + fines) et des granulats avec un éventuel départ de ces derniers comme la montre la figure ci-après :



-**Plumage** : arrachement d'une partie des gravillons du revêtement, du parfois à un mauvais épandage du liant. Dans ce cas, les gravillons s'arrachent suivant des lignes parallèles à l'axe de la chaussée (peignage)

### II.1.2.3 Déformations :

-**Bourrelet** : gonflement de la structure dans le profil en long, profil en travers, ou en un point localisé comme la montre la figure ci-après :





## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---

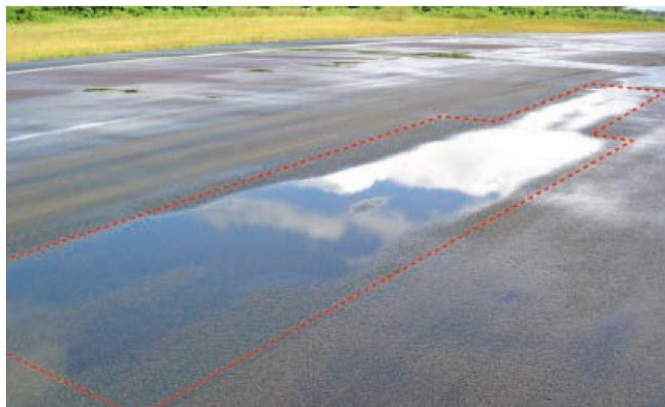
- **Flache** : dépression localisée sur la surface de la chaussée généralement de forme elliptique ou arrondie comme la montre la figure ci-après :



- **Glaçage** : usure du revêtement qui rend lisse et glissant comme la montre la figure ci-après :



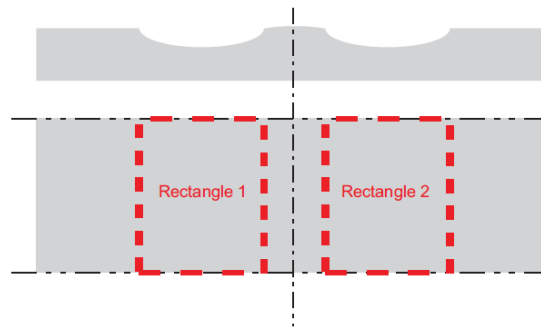
- **Ornière / frayée** : dépression longitudinale de faible rayon transversal apparaissant dans les traces des atterrisseurs et éventuellement accompagnée d'un fluage des enrobées se matérialisant par un bourrelet en bordures de la déformation comme la montre la figure ci-après :



- **Déformation-W-**: dépression longitudinales de grand rayon transversal située de part et d'autre de l'axe de voie de circulation dans le passage de atterrisseurs principaux des avions et dont les largeurs varient entre 5 et 7 m comme la montre la figure ci-après :

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---



- **Affaissement** : c'est la variation de niveau du profil comme la montre la figure ci-après :



### II.1.2.4 Autres Dégradations :

- **boursofflure saline ou champignon** : rencontre en climat désertique c'est le renflement et le soulèvement de la couche de roulement suite a la cristallisation du sel (halite) sous forme de cristaux fibreux (trichites) entre la couche de base et la couche de roulement

- **décollement** : rupture de l'adhésion entre revêtement et corps de chaussée

- **Remontée d'eau** : zone humide à la surface du revêtement comme la montre la figure ci-après :

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

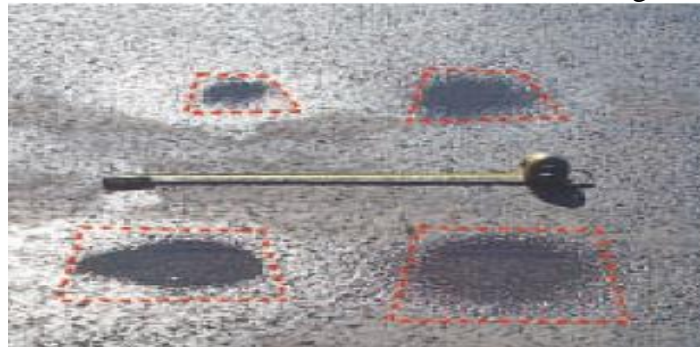
---



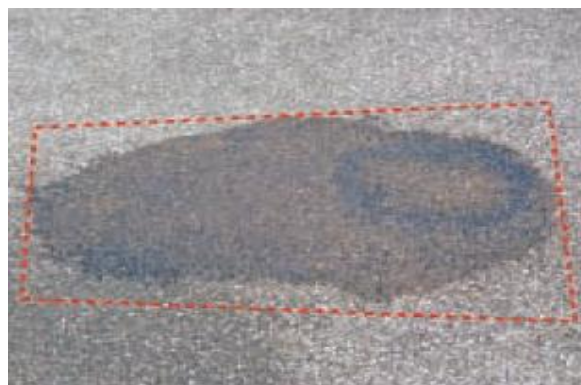
- **Dépôt de gomme** : dépôt de caoutchouc localisé dans la zone de toucher de roues comme la montre la figure ci-après :



- **Empreinte / poinçonnement** : enfoncement localisé du revêtement. Ce défaut s'observe généralement dans les aires de stationnements comme la montre la figure ci-après :



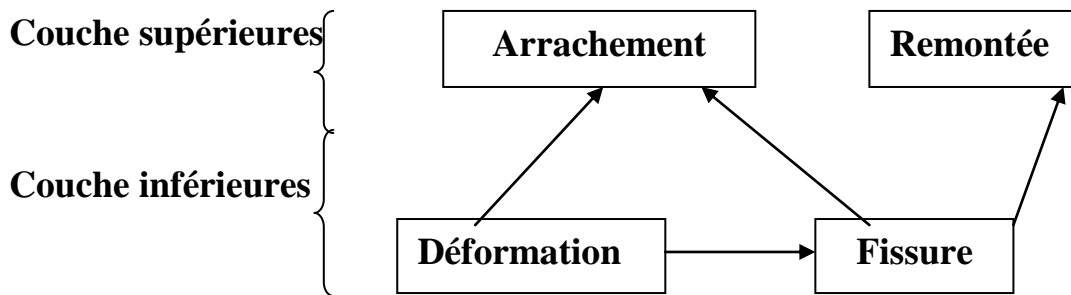
- **Contamination / souillure** : pénétration dans l'enrobé de produits chimiques (hydrocarbures huiles ....) comme la montre la figure ci-après :





## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---



### II.1.3 Facteurs généraux influant sur les dégradations des chaussées :

Les causes principales de la dégradation des chaussées aéronautiques sont nombreuses et complexes, toutefois on peut citer quelques facteurs essentiels :

- Le trafic.
- Les conditions climatiques et d'environnement.
- La nature de sol support.
- Le dimensionnement du corps de chaussée.
- Mauvais drainage.
- La qualité des matériaux de mise en œuvre.<sup>1</sup>

#### II.1.3.1 Trafic

Le trafic est l'élément le plus prépondérant dans la dégradation d'une chaussée.

Toutefois, les désordres provoqués ne sont pas directement liés au nombre de mouvement par jour. Il dépend d'un facteur complexe englobant à la fois la charge par atterrisseur, le mode d'assemblage des roues, la pression de gonflage des pneumatiques, la fréquence de passage et la durée d'application des charges.

Donc la charge des atterrisseurs, entraîne un vieillissement rapide à la couche de la surface ce qui induit la détérioration de cette dernière.<sup>1</sup>

#### II.1.3.2 Conditions climatiques et environnementales

Les paramètres qui influent sur la dégradation du corps de chaussée, sont la présence d'eau en grande quantité, le gradient thermique.

Quand ces phénomènes prennent naissance ils entraînent une diminution des résistances mécaniques ce qui accélère la destruction de la structure.

La présence d'eau dans le corps de chaussée ou le sol de fondation a pour effet de diminuer les caractéristiques géotechniques des matériaux comme la portance, le gonflement ou l'augmentation du volume de certains matériaux argileux du à la congélation de l'eau se trouvant dans les pores.<sup>1</sup>

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

### II.1.3.3 Portance du sol support

La nature de sol support intervient dans la dégradation des chaussées aéronautiques quand il s'agit d'un sol meuble, pour cela une bonne étude géotechnique doit être menée.<sup>1</sup>

### II.1.3.4 dimensionnement du corps de chaussée

A l'heure actuelle le dimensionnement devient de plus en plus prépondérant surtout dans le cas de chaussées anciennes de faible épaisseur, ou quand la structure de chaussée devient polluer.

Une chaussée mal dimensionnée ne supporte pas les charges qui lui sont transmises, entraîne une détérioration du corps de chaussée.<sup>1</sup>

### II.1.3.5 Qualité des matériaux et leur mise en œuvre

Ces deux critères essentiels ne devraient, en aucun cas être négligés, car leur négligence entraîne une détérioration accélérée.

Les défauts observés sur les matériaux sont :

- La granularité incorrecte.
- Une dureté insuffisante, surtout pour les granulats.
- Une propreté insuffisante des granulats.
- La mauvaise forme géométrique des granulats.
- Matériaux naturels trop argileux.

En ce qui concerne la fabrication ou la mise en œuvre on peut citer les défauts suivants :

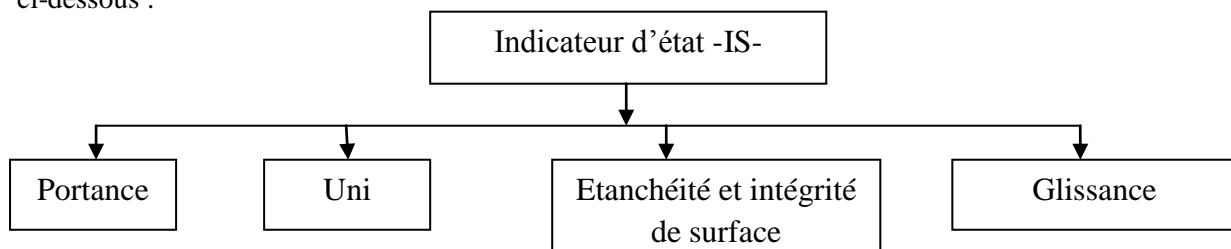
- La ségrégation des graves concassés.
- Les dosages non respectés.
- Le mauvais enrobage.
- Le compactage insuffisant.
- Les températures de mise en œuvre trop basses.
- Répandage de liant irrégulier.<sup>1</sup>

### II.1.4 Méthode PCI (Pavement Condition Index) ou indices de service(IS) :

La méthode indice de service (IS) est basée sur l'analyse de relevés visuels de différents indicateurs d'état permettant d'apprécier le niveau de qualité d'une chaussée.

Cette méthode, non seulement avantageuse du côté mise en œuvre rapide, coût d'exécution et pénalisation de la circulation aérienne; mais également elle fournit une masse importante d'informations sur l'état des chaussées et son évolution dans le temps. Elle constitue en cela 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.

L'indicateur d'état « IS » est relié à un ou plusieurs types de dégradations comme le Montre la figure ci-dessous :<sup>2</sup>



## Chapitre II : Auscultation des chaussées

**La portance** : concerne la famille des déformations, fissures de fatigue et faïençage.

**L'uni** : concerne les familles des déformations comme la Pelade

**L'étanchéité** : concerne les familles de fissures et des arrachements

**La glissance** : concerne les familles des déformations, ainsi le dépôt de gomme, ressuage, les remontées d'eau et de fines

### II.1.4.1 Principe de la méthode PCI:

Le principe de cette méthode consiste d'abord à séparer les aires de mouvements de l'aérodrome en mailles de même surface de 500 m<sup>2</sup>, afin de mieux mener le relevé visuel.

En suite La procédure utilisée consiste à enregistrer, maille par maille, les dégradations observées conformément aux recommandations du catalogue de dégradations STBA, chaque dégradation est répertoriée à l'aide du triplet d'information suivant :

Le type de la dégradation

Le niveau de gravité : Léger (L), Moyen (M) ou élevé (E).

La densité de dégradation dans la maille considérée, celle-ci est mesurée par une surface caractéristique de chaque type de dégradation.

Enfin Le catalogue de dégradations permet de faire la distinction de celles

Provenant de la surface ou de la structure comme le montre le tableau suivant :

**Tab1 : Dégradations dans Corps de chaussée**

Type de la chaussée	Dégradations révélant un défaut de structure	Dégradations révélant un défaut de surface
Chaussée souple	Flache -Ornière -fissure de fatigue -Faïençage de fatigue -Déformation en W -Gonflement -Tassement différentiel -Remontée d'eau -Remontée de fines	-Désenrobage – Brûlure -Enrobé poreux -Fissure de joint -Fissure de retrait -Faïençage de retrait -Réparation dégradée -Contamination -Dépôt de gomme -Poinçonnement -Fissure parabolique -Nid de poule -Pelade

### II.1.4.2 Méthode de calcul du PCI :

Découpage de la section caractéristique en maille de 500 m<sup>2</sup> ;

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 obtenu par l'addition des diverses valeurs déduites de chacune des mailles.

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---

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 :

$$IS = 100 - VDC$$

Notons que :

L'indice de service de la section est la moyenne des indices de service de chacune des mailles composantes.<sup>2</sup>

### 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.

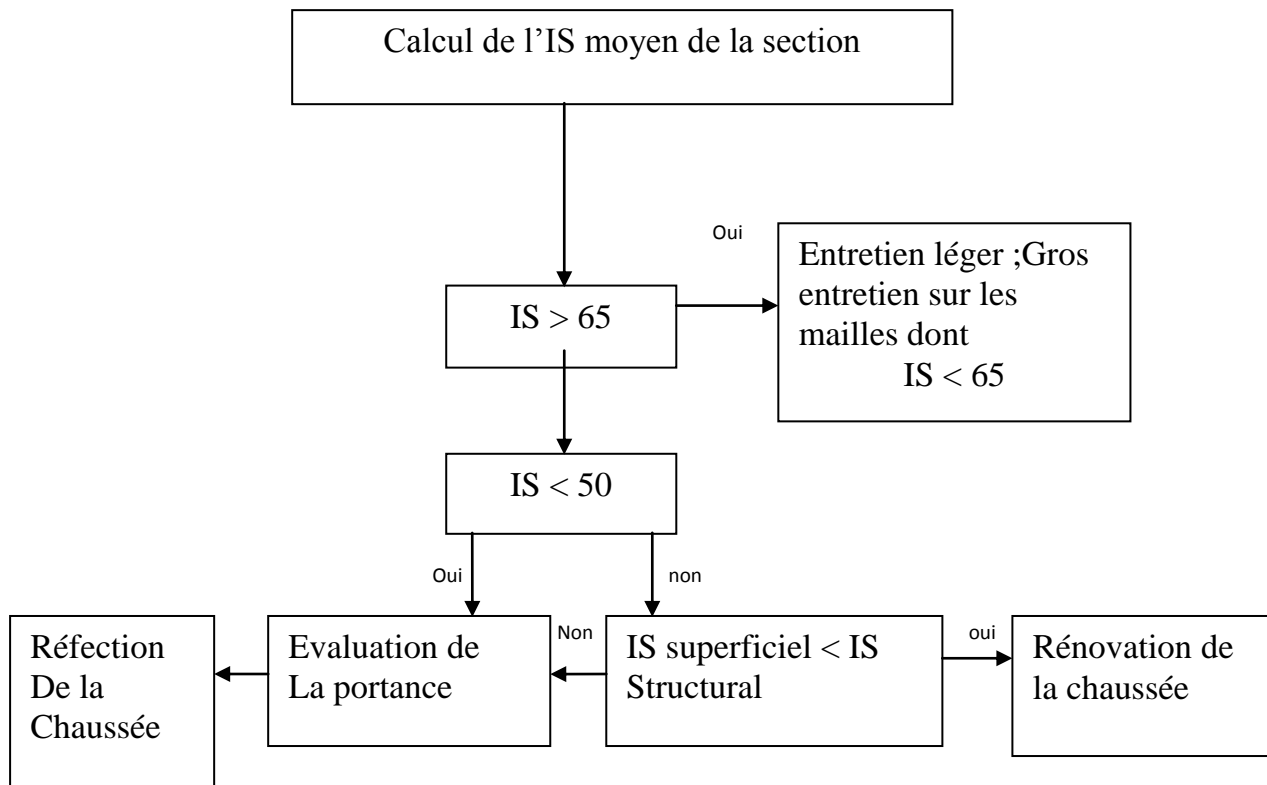
L'indice de service, peut prendre des valeurs comprises entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve). Le tableau suivant nous montre l'état de la chaussée pour chaque fourchette d'indices de service<sup>2</sup>

**Tab2 : IS et niveau de service**

Indice de service en %	Niveau de service
0 - 10	Hors service
10 - 25	Très mauvais
25 - 40	Mauvais
40 - 55	Passable
55 - 70	Moyen
70 - 85	Bon
85 - 100	Très bon

### II.1.4.3 Interprétation des résultats :

Pour qualifier l'état de la chaussée, et afin de justifier le renforcement ou non de l'aérodrome, il est indispensable de passer par l'organigramme suivant, qui est considéré comme un principe général du système de gestion :



### II.2 Auscultation des chaussées aéronautiques au HWD

Le HWD (Heavy Weight Déflectomètre) est un appareil d'auscultation non destructive des chaussées aéronautiques permettant de générer, par un système de masse tombante, un chargement impulsionnel afin de simuler le passage d'une roue d'avion. La réponse de la chaussée à cette sollicitation est mesurée au moyen de géophones. L'enregistrement est analysé pour déterminer les caractéristiques de la chaussée avec pour objectif un calcul de renforcement ou d'une capacité portante. Une auscultation régulière au HWD constitue pour le gestionnaire un outil de gestion rationnelle d'entretien d'une plateforme<sup>5</sup>



Fig. 1 : HWD (Heavy Weight Déflectomètre)

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

Les mesures prises sur site par le système HWD permettent de calculer les paramètres suivants :

- ✓ Les valeurs des déflexions ;
- ✓ Les modules en surface ;
- ✓ Les modules de rigidités de chaque couche ;
- ✓ La durée de vie résiduelle de la chaussée existante ;
- ✓ Les épaisseurs de renforcement

### II.2.1 Principe de mesure et traitement

L'appareil HWD consiste à reproduire les sollicitations dues au passage d'un véhicule lourd ou avion et à mesurer la réaction de la chaussée en mesurant le bassin de déflexion à l'aide de neuf (09) géophones

Le premier géophone est situé dans une cavité aménagée au centre de la plaque de chargement. Les autres sont placés sous la remorque le long de la tige mobile de 2,25 m et peuvent être positionnés aux endroits désirés selon les besoins

Le chargement dynamique produit est mesuré à l'aide d'une cellule adéquate, les charges peuvent varier de 30 à 280 KN selon le poids de la masse et la hauteur de chute. La charge utilisée pour l'analyse structurale des chaussées aéronautiques dépend de l'avion le plus contraignant.

La masse est montée à la hauteur voulue (100 et 400 mm dans notre cas) puis laissée en chute libre grâce à un signal électrique. L'impulsion est transmise par un amortisseur de caoutchouc à une enclume reposant sur une plaque d'acier circulaire de 300 ou 450 mm de diamètre. La plaque peut s'incliner jusqu'à 6° par rapport à l'horizontale pour mieux épouser la forme de la surface.

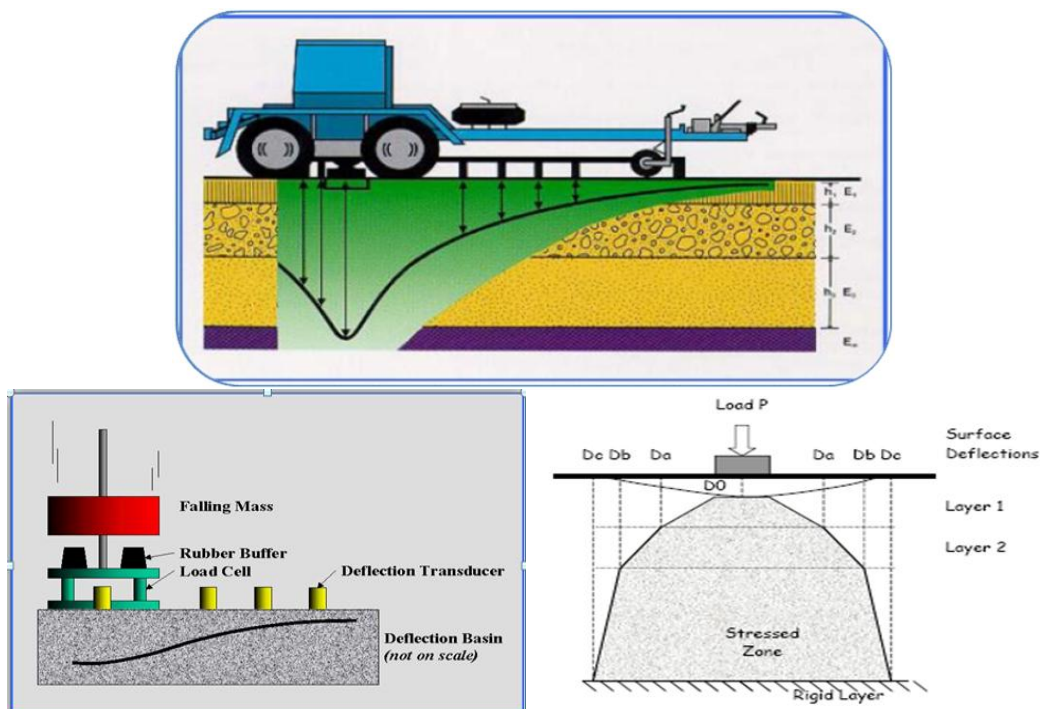


Fig. 2 : Schéma du principe de l'essai HWD



## Chapitre II : Auscultation des chaussées

---

### II.2.2 Déflexions

La déflexion est par définition le fléchissement de la chaussée sous une charge connue mesurée en mode statique ou dynamique. On peut aussi dire que c'est l'affaissement ou le déplacement vertical mesuré à la surface, exprimé en unité de longueur (micron de mètre) sous l'effet de la charge exercée par le deflectomètre. Ce paramètre mesuré permet d'évaluer la portance de la chaussée exprimée par la durée de vie résiduelle calculée à la fin du traitement de toutes ces données. L'amplitude de la déflexion est intimement liée aux propriétés et dimensions du corps de chaussée.

Le programme ELMOD 6 (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design) permet le traitement des données par la méthode de calcul inverse et fournit tous les résultats conduisant à l'évaluation de la durée de vie, et le PCN de la formation étudiée.

### II.3 Auscultation avec profilomètre Uni

L'uni est mesuré au moyen d'un appareil de type profilomètre inertiel laser RSP 5051 de marque Dynates fixé à l'aide de supports métalliques à l'avant du véhicule.

L'appareil est composé de deux sondes laser et de deux accéléromètres et un instrument de mesure de distance (DMI) fixé à la roue arrière du véhicule. Il est assisté par une unité d'acquisition (DPU) et un ordinateur de bord. Notre profilomètre est doté aussi d'un appareil photo pour la capture des images lors de son passage.



Fig. 3 : Profilomètre inertiel

## Chapitre II : Auscultation des chaussées

### II.3.1 Principe de mesure

Les mesures ont été effectuées à des vitesses variant entre 20 et 80 Km/h. Les lasers mesurent les hauteurs entre le revêtement et les capteurs (D) et les accéléromètres corrigent le mouvement du véhicule (A). Le profil est obtenu par la combinaison de ces mesures.

Le schéma suivant donne une idée claire sur le principe de mesure.

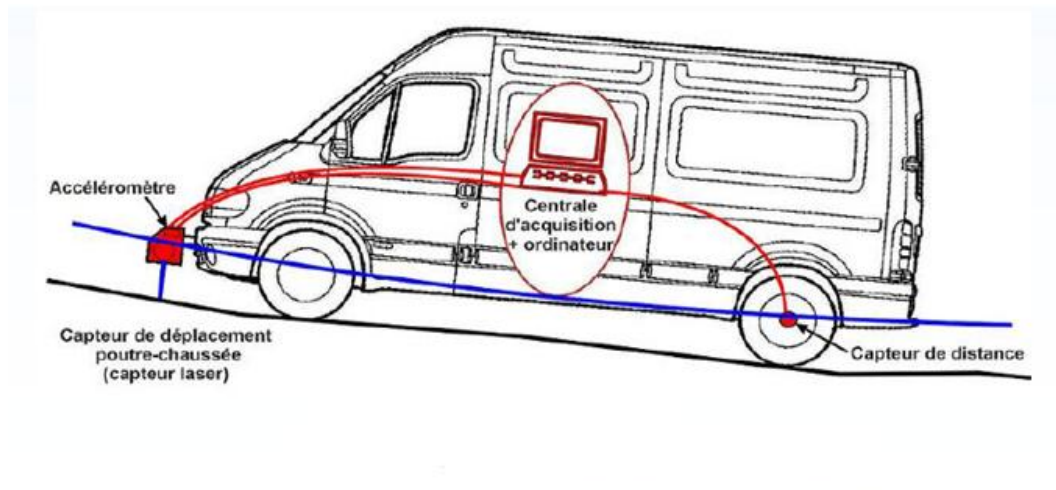


Fig. 4 : Principe de mesure

### II.3.2 Principe de mesure au profilomètre

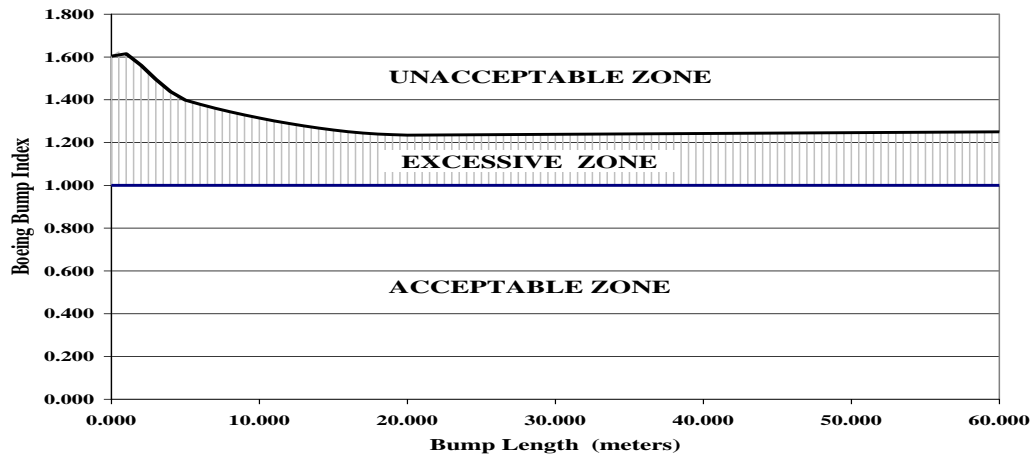
Les données obtenues sont enregistrées sous forme de profils en long, avec le logiciel de traitement IMPLAX on peut calculer l'indice de planéité ou de confort ou roulement IRI « International Roughness Index » et avec le logiciel de traitement ProFAA on peut calculer l'indice BBI « Boeing Bump index ».

L'indice IRI est calculé tous les 10 m, ce dernier représente un indicateur d'uni proportionnel aux déplacements verticaux cumulés de l'axe d'une roue par rapport au châssis du véhicule exprimé en m/km. L'IRI varie entre 0 m/km et 10 m/km représentant, respectivement, une chaussée parfaite et une chaussée complètement détériorée sur laquelle on ne peut circuler qu'à vitesse réduite.

L'indice BBI est calculé chaque 25cm, cette méthode est basée sur la détection des irrégularités de la surface qui se présente sous forme de bosses, la géométrie de ces dernières est, ensuite, caractérisée et étudiée le long de la piste. L'uni est considéré acceptable si la valeur de BBI est inférieure à 01, dans le cas contraire, l'uni est excessif ou inacceptable.



## Chapitre II : Auscultation des chaussées



### II.4 Reconnaissance géotechnique

La géotechnique a pour but d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support qui sert d'assise pour la structure de chaussée aéronautique.

Pour l'élaboration et l'exécution d'un projet, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés. Pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensables, car elle permet :

- En phase d'étude : de bien définir le projet (dimensionnement du corps de chaussée et choix des matériaux).
- En phase d'exécution : elle permet de réaliser les travaux avec un minimum de Risques possibles (choix des moyens et des matériaux adaptés à la nature des sols). Cette étude doit aussi permettre de localiser les différentes couches, donner les Renseignements de chaque couche, les caractéristiques mécaniques et physiques de sol support.

Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol.

Pour cela le laboratoire des travaux publics de sud a été chargé par la direction des infrastructures de base de la wilaya de Tamanrasset pour procéder aux essais géotechniques sur le site pour l'aérodrome d'in Salah

Le calcul de l'épaisseur des chaussées souples nécessitera des prélèvements destinés à des essais CBR en laboratoire, module de réaction, granulométrie, teneur en eau, perméabilité, densité en place.

Ce programme doit inclure des reconnaissances « in situ » : Les creusements des puits et les carottes.<sup>1</sup>

#### II.4.1 Campagnes de carottage

La campagne de carottage consiste à déterminer les épaisseurs de différentes couches des chaussées, la profondeur des fissures de dégradations et leur nature.

## **Chapitre II : Auscultation des chaussées**

---

### **II.4.2 Campagnes de creusement des puits**

Le but de cette action est la reconnaissance des conditions géologiques et géotechniques de la zone de l'aérodrome, elle nous permet de reconnaître les propriétés et la nature des sols, le niveau de la nappe Phréatique,...etc.

# **Chapitre III :**

**Etude Pratique cas**

**Aéroport In Salah**

### Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah :

#### III.1 Auscultation visuelle

L'investigation visuelle consiste à faire un relevé visuel par des ingénieurs qui parcourent toutes les aires de manœuvres afin de lister toutes les dégradations qui affectent l'aérodrome. Selon le catalogue du STBA service technique des bases aériennes, il faut que Chaque dégradation constatée soit inscrite dans une liste en tenant compte des trois Paramètres suivants :

##### 1. Type de dégradation :

Les dégradations dans la chaussée aéronautique peuvent être :

- Dans la structure de la chaussée.
- Dans la surface.

##### 2. Niveau de gravité :

C'est le relevé qualitatif de la dégradation, on peut citer trois niveaux de gravité qui Sont :

- Léger.
- Moyen.
- Elevé.

##### 3. Quantité de la dégradation :

Le relevé quantitatif consiste à découper la section de la chaussée à étudier en tronçons d'aires constantes pour bien définir les dégradations à relever

#### Les moyens utilisés pour le relevé visuel sont

- Une règle de 3 m.
- Un mètre pour la mesure de la dégradation «ouverture des fissures, la profondeur De l'affaissement ».
- Une feuille de relevé.
- Catalogue de dégradation

#### III.1.

Lors d'une mission effectuée sur le site de l'aérodrome, il a été procédé au relevé visuel détaillé de dégradations respectivement au niveau des chaussées des aires suivantes :

- **piste d'envol.**

Les relevés ont été effectués conformément au catalogue de dégradation S.T.B.A (Service technique des bases aériennes).

Le maillage adopté pour le relevé des dégradations a consisté en la division de la piste par des mailles de 25 x 20 m<sup>2</sup>Pour chaque maille de relevé, il est noté le type de dégradation, son étendue (linéaire ou surface) et son degré de gravité.

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

---

Les mailles sont matérialisées sur la chaussée par un marquage en peinture en **M** Inscrivent le numéro de chaque maille.

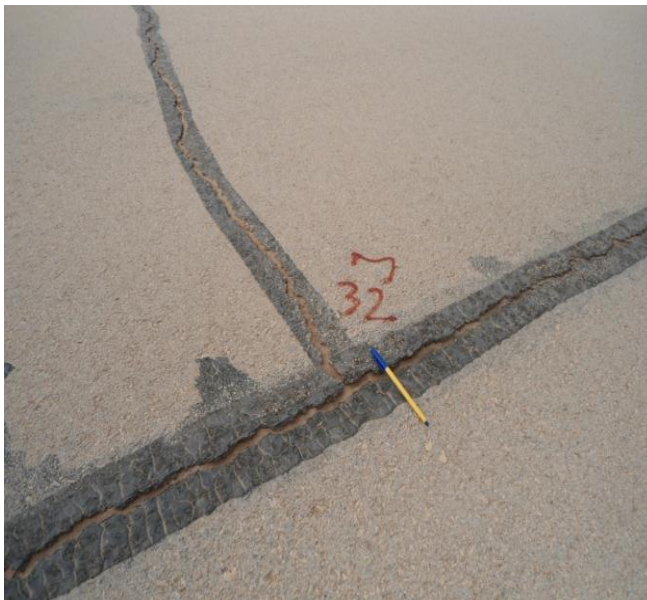
### III.1.2 Etat de chaussée de la piste

Le relevé visuel de dégradation de la piste, effectué le long des mailles a révélé deux familles de dégradations.

Les dégradations relevées peuvent être identifiées en 2 familles (les déformations et les fissures).

#### III.1.2.1 Fissure de joint:

Ouverture des toute les joints d'épandage longitudinaux et transversaux avec un degré de gravité variable du léger au grave. On noter que les fissures sont colmatées au niveau de la bande centrale et les bandes latérales par un produit, des fissures de faibles ampleurs ont été constaté à travers ce produit de colmatage ;



#### Les causes sont :

- le mauvais accrochage initial entre les deux bords du joint
- Faute de réchauffage ou de badigeonnage ou, dans le cas contraire
- Le vieillissement du liant sous l'effet des variations de température.

#### Evolutions :

Elle évolue vers l'épaufrure des bords de joint, ce qui facilite la pénétration d'eau et peut entraîner

Sous l'effet du trafic, un décollement partiel de l'enrobé. Elle peut également évoluer vers le faïençage, le nid de poule ou la pelade.

### III.1.2.2 Fissure longitudinale :

Généralisées au milieu des bandes d'épandage, dont le degré de gravité est variable entre le léger et le grave



**Les causes sont :** la fatigue de la chaussée

- due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic, ou d'une portance insuffisante du sol
- les défauts de construction
- joints d'enrobé défectueux
- ou les caractéristiques du sol
- tassement, glissement, ou retrait du sol Argileux à la suite d'une longue période de sécheresse.

**Evolution :** elle évolue vers un faïençage et un départ de matériaux. Aucun entretien courant n'est réalisé si la fissure est fine (moins de 2mm d'ouverture) ; dans le cas contraire, et en l'absence de désordre secondaire, il est procédé à un pontage à chaud avec mastic spécial ; en présence de désordre secondaire, il est procédé à une imperméabilisation de la surface

### III.1.2.3 Fissures transversales

Généralisées au milieu des bandes d'épandage, dont le degré de gravité est variable entre le léger et le grave





## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

**Les causes sont :** le retrait dû à la prise de l'assise traitée aux liants hydrauliques sous l'effet des variations de la température, la fissure remonte au travers de la couche de surface, et l'ouverture varie selon la saison, s'accroissant davantage en hiver et le défaut de construction d'un joint de reprise de tapis d'enrobés.

**Evolutions :** elle évolue vers l'épaufrure et le faïençage, flache et départ de matériaux. Il n'y a aucune technique d'entretien courant, mais seulement un pontage à chaud avec un mastic spécial dans le cadre d'une opération programmée.

### III.1.2.4 Gonfle

Gonflement localisé au niveau des bandes de rives accompagné par des fissures de grandes ampleurs



**Les causes sont :** les réactions physico-chimiques ponctuelles entre des constituants de la structure et l'eau, réactions qui forment des composés gonflants

**Evolutions :** elle évolue en prenant de la hauteur, ainsi que vers une fissuration en étoile de la couche de roulement.

### III.1.3 Calcul du PCI ou IS :

Les indices de services propres à notre projet sont les suivants :

IS globale	IS structurel	IS superficiel
25.40	32.18	28.14

On constate, d'après le tableau précédent, que l'état global de la piste principale 05/23 est Mauvais (IS moyen est égal 25.40), ainsi que le niveau de service de la structure et de la surface est considérée comme en mauvaise état (IS structurel = 32.18, IS superficiel = 28.14). Suivant l'organigramme précédent,

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

Nous jugeons que la piste à son état actuel nécessite une réfection totale, soit une opération économiquement très colossale vue la situation financière et crise monétaire que vit le pays en ce dernier temps, sans pour autant, oublier les pertes d'argent dues à la fermeture de l'aérodrome pendant la période de réfection qui peut s'étaler jusqu'à une année et demi. L'alternative qui se voit à ce propos adéquate, est de procéder actuellement à un renforcement de la piste existante sur sa conjoncture actuelle ainsi une durée supplémentaire est accordée à la piste. Certes, l'opération de renforcement ne dure pas autant que la période de réfection ce qui permet un gain sur le prolongement de la durée de vie de la piste actuelle et une espérance du changement de la conjoncture financière du pays dans les prochaine années.

### III.2 Auscultation de la chaussée au HWD

#### III.2.1 Plan d'intervention

Afin de mieux couvrir la surface de la piste un plan d'intervention a été établi de telle façon à avoir le maximum de mesures de portance dans les bandes centrales des mesures.

Au total sept 07 profils ont été réalisés au niveau de la piste 05/23 en partant du seuil 05 vers le seuil 23. Le nombre total des points mesurés est de 457 soit  $457 \times 2 = 914$  Chutes ou mesures.

Les intervalles de mesure au niveau de chaque profil et le nombre des points de mesure relatifs sont donnés dans le tableau suivant

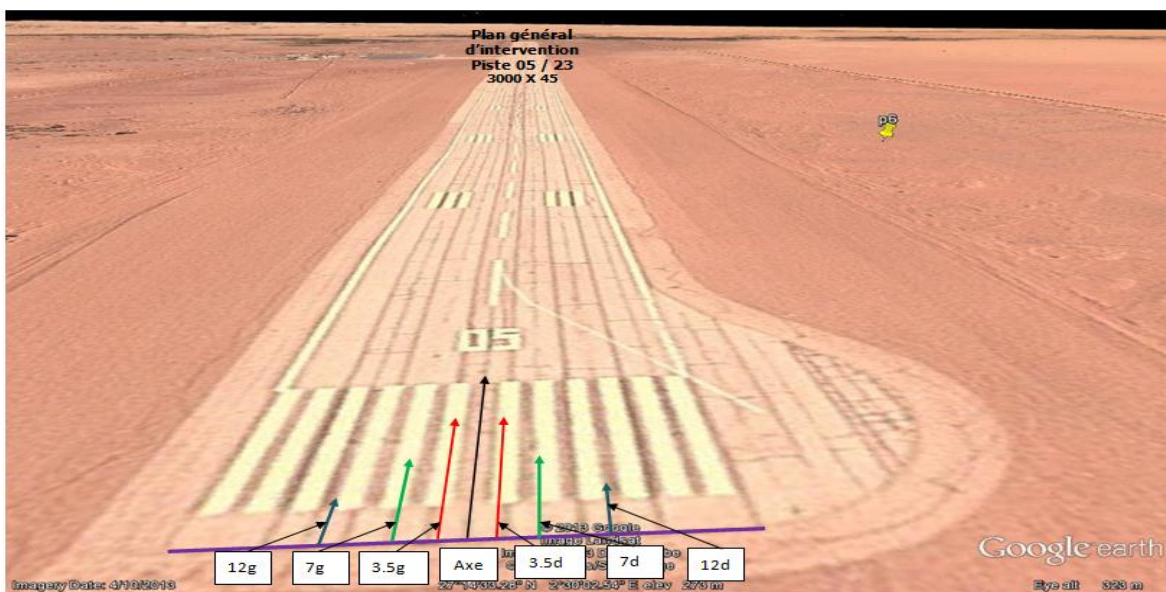


Fig.1 : Les profils a ausculté au HWD



## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

Tab 01 : Tableau des profils

Profils	Position	Intervalle de	Points de mesure
Profil Axe	Axe central de la piste	30 ml	101 points
Profil 3.5d	3.5 ml A droite de l'axe central de la	30 ml	101 points
Profil 3.5g	3.5 ml A gauche de l'axe central de la	30 ml	101 points
Profil 7d	7 ml A droite de l'axe central de la piste	60 ml	51 points
Profil 7g	7 ml A gauche de l'axe central de la	60 ml	51 points
Profil 12d	12 ml A droite de l'axe central de la piste	120 ml	26 points
Profil 12g	12 ml A gauche de l'axe central de la	120 ml	26 points
<b>TOTAL</b>		<b>457 Points de mesure</b>	

### III.2.2 Déflexions

ELMOD 6 (Elévation Layer Moduli Overlay & Design) logiciel de traitement des données, utilise ce modèle pour le calcul des déflexions théoriques, le but est de minimiser au sens des moindres carrés l'erreur entre les déflexions mesurées et calculées,

Tab02 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DEFLEXIONS ENREGISTREES DU PM0+000 au PM 0+600

		Emplacement des géophones par rapport à la plaque (mm)								
Profils	Nombre de points mesurés	0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
		les déflexions moyennes en $\mu\text{m}$ (microns)								
<b>Axe</b>	21	892	772	691	594	504	342	258	191	148
<b>3.5d</b>	21	724	612	548	456	378	276	206	154	123
<b>3.5g</b>	21	900	681	588	483	402	277	202	149	117
<b>7d</b>	11	943	723	631	522	438	302	224	162	126
<b>7g</b>	11	911	754	666	540	440	297	217	158	122
<b>12d</b>	6	1045	805	701	582	486	326	232	169	133
<b>12g</b>	6	816	655	579	486	412	291	206	151	120
<b>Moyenne</b>		<b>890</b>	<b>715</b>	<b>629</b>	<b>523</b>	<b>437</b>	<b>302</b>	<b>221</b>	<b>162</b>	<b>127</b>

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

Tab 03 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DEFLEXIONS ENREGISTREES DU PM0+600 au PM 3+000

Profils	Nombre de points mesurés	Emplacement des géophones par rapport à la plaque (mm)								
		0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
<b>Axe</b>	80	730	592	519	440	373	267	194	141	108
<b>3.5d</b>	80	674	535	474	399	339	240	172	122	91
<b>3.5g</b>	80	763	569	492	408	344	240	172	120	90
<b>7d</b>	40	794	626	550	465	393	275	198	138	101
<b>7g</b>	40	790	622	547	463	395	282	199	137	101
<b>12d</b>	20	878	662	575	483	410	289	207	143	104
<b>12g</b>	20	838	618	538	450	379	268	191	133	98
<b>Moyenne</b>		<b>781</b>	<b>603</b>	<b>528</b>	<b>444</b>	<b>376</b>	<b>266</b>	<b>190</b>	<b>133</b>	<b>99</b>

### III.2.3 Modules de surface :

Le module de surface (surface modules E0) est le module d'une seule couche équivalente qui va donner une déflexion en surface égale à celle enregistrée sur un système multicouche réel. Ce module permet de constater la présence de couches souples ou rigides, il est utilisé aussi pour donner une première estimation des modules d'élasticité de la chaussée. Le module de surface E0 est un outil simple et pratique pour la détection de présence de couche faible, mais le module de ces couches ne peut être déterminé directement à partir d'E0 seulement. C'est pour cela qu'E0 est lié à l'épaisseur équivalente de la couche et non à l'épaisseur actuelle. Cette dernière information doit être connue pour pouvoir calculer les modules d'élasticité de chaque couche.

Un résumé des résultats obtenus est donné dans le tableau suivant :

### Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

**Tab04 : TABLEAU RECAPITULATIF DES MODULES EN SURFACE ENREGISTREES DU PM0+000 au PM 0+600**

Profils	Nombre de points mesurés	Emplacement des géophones par rapport à la plaque (mm)								
		0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
		les modules en surface moyen (Mpa)								
<b>Axe</b>	21	807	233	173	151	119	129	137	154	160
<b>3.5d</b>	21	952	281	209	188	152	155	167	186	186
<b>3.5g</b>	21	801	263	203	185	148	161	177	200	205
<b>7d</b>	11	738	237	180	162	128	140	150	174	178
<b>7g</b>	11	805	244	183	168	137	150	163	188	195
<b>12d</b>	6	669	215	164	147	116	129	144	164	166
<b>12g</b>	6	868	271	204	182	143	151	170	194	196
<b>Moyens</b>		<b>806</b>	<b>249</b>	<b>188</b>	<b>169</b>	<b>135</b>	<b>145</b>	<b>158</b>	<b>180</b>	<b>184</b>

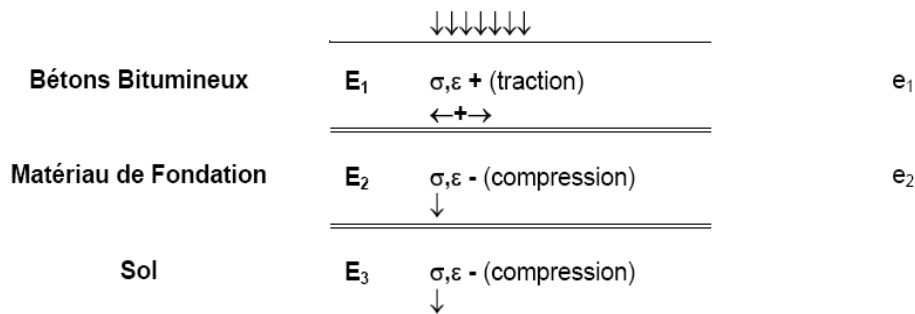
**Tab 05 : TABLEAU RECAPITULATIF DES MODULES EN SURFACE ENREGISTREES DU PM0+600 au PM 3+000**

Profils	Nombre de points mesurés	Emplacement des géophones par rapport à la plaque (mm)								
		0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
		les modules en surface moyen (Mpa)								
<b>Axe</b>	80	991	307	233	206	162	169	185	213	220
<b>3.5d</b>	80	1029	324	244	217	170	180	200	235	250
<b>3.5g</b>	80	935	316	244	220	175	187	209	248	265
<b>7d</b>	40	878	280	212	188	147	157	174	207	224
<b>7g</b>	40	908	290	220	195	152	159	178	215	233
<b>12d</b>	20	787	264	203	181	142	151	169	203	222
<b>12g</b>	20	854	295	226	202	160	169	188	224	241
<b>Moyens</b>		<b>912</b>	<b>297</b>	<b>226</b>	<b>201</b>	<b>158</b>	<b>167</b>	<b>186</b>	<b>221</b>	<b>236</b>

### III.2.3 Modules d'élasticité :

Le calcul des modules élastiques  $E_i$  des couches ; Après avoir introduit les épaisseurs ( $e_i$ ) des différentes couches de la structure et compte tenu d'une part du module moyen défini et, d'autre part, des valeurs mesurées lors de l'essai, le module de chacune des couches est calculé (calcul inverse) ainsi que les contraintes et déformations correspondantes. Les éléments théoriques utilisés lors de cette phase de calculs itératifs sont basés sur le principe M.E.T. (Method of Equivalent Thicknesses), ou méthode d'Odemark-Kirk, complétées par la théorie de Boussinesq.

A la fin de cette première phase d'exploitation des mesures, les données suivantes, qui sont les réponses in-situ de la structure, sont disponibles au droit de chaque point testé



Après cette partie analytique, il reste à interpréter les résultats en termes de "résistance globale à la portance" vis à vis du trafic futur prévu. Dans un premier temps, plusieurs paramètres doivent être définis, en particulier la variation des modules des bétons bitumineux en fonction de la température.

L'interprétation "empirique" des résultats, est proposée à travers le logiciel ELMOD 6 (Elevation Layer Moduli Overlay & Design), qui combine un critère "structurel" qui est la déformation horizontale à la base des bétons bitumineux, et un critère "fonctionnel", qui définit la contrainte verticale sur les couches non liées de fondation.

Le logiciel ELMOD 6 permet le calcul des modules d'élasticité de chaque couche grâce à trois modules intégrés à savoir :

#### 1. Radius of Curvature :

Cette technique est basée sur la méthode Odemark-Boussinesq de l'épaisseur équivalente ; elle utilise les enregistrements des géophones éloignés du centre de la charge pour la détermination des caractéristiques non linéaire de la couche de forme « subgrade » et les enregistrements des géophones proches du centre de la charge pour la détermination du module de la couche superficielle. La rigidité des couches restantes est calculée en se basant sur la réponse de la chaussée à la charge appliquée.

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

### 2. Déflexion Basin Fit :

Cette technique est aussi basée sur la méthode Odemark-Boussinesq de l'épaisseur équivalente, mais un processus d'itération additif est utilisé pour faire converger au sens des moindres carrées les déflexions calculées avec celles mesurées. Vu sa mise en œuvre facile, cette méthode a été adoptée pour l'ensemble des profils étudiés.

### 3. FEM / LET / MET (Finite Element Method / Linear Elastic Theory / Method of Equivalent Thickness):

Ce sont trois techniques pour le calcul des modules se basant sur des différentes théories :

- la première se base sur le programme d'éléments finis symétriques axiaux développé par Wilson (University of California),
- la deuxième fait usage du programme WESLEA (waterway sexperiment station's)
- la dernière est une méthode similaire à la technique « Basin Fit » déjà vue précédemment mais avec quelques facteurs d'ajustement additifs.

Les modules d'élasticité calculés par la méthode « **Deflection Basin Fit** » sont donnés sur les tableaux suivants :

#### Piste d'envol 05/23 :

Tab 06 : TABLEAU RECAPITULATIF DES MODULES DES COUCHES OBTENUS DU PM0+000 au PM 0+600

Profils	Modules des couches	E1	E2	E3
	Nombre de points mesurés	les modules en surface moyen (Mpa)		
Axe	80	5919	563	77
3.5d	80	6006	878	100
3.5g	80	3240	1094	103
7d	40	3640	708	96
7g	40	4487	909	78
12d	20	3061	875	78
12g	20	4638	939	98
<b>Moyens</b>		<b>4427</b>	<b>852</b>	<b>90</b>

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

Tab 07 TABLEAU RECAPITULATIF DES MODULES DES COUCHES OBTENUS DU PM0+600 au PM 3+000

Profils	Modules des couches	E1	E2	E3
	Nombre de points mesurés	les modules en surface moyen (Mpa)		
Axe	80	4542	623	89
3.5d	80	4366	784	92
3.5g	80	3165	899	100
7d	40	3566	752	79
7g	40	3548	863	83
12d	20	2686	854	81
12g	20	2769	727	106
<b>Moyens</b>		<b>3520</b>	<b>786</b>	<b>90</b>

### III.3 Auscultation avec profilomètre Uni :

Le système Profilomètre permet la mesure en continu de l'uni longitudinal des chaussées routières et des pistes aéronautiques et, plus généralement, de toute voie circulaire par des engins automobiles, quelles que soient la structure de la chaussée et la nature de son revêtement.

La mesure est basée sur un relevé du profil en long de la chaussée, dans une ou deux traces : l'analyse de ce profil permet d'en déduire les caractéristiques d'uni de la surface de la chaussée.

Sept (07) profils de mesure d'uni ont été réalisés au niveau de la piste 05/23 de l'aérodrome de In-Salah, les profils sont implantés de manière à recouvrir les endroits les plus sollicités de la piste, la longueur de cette piste est 3000m. L'origine de toutes les mesures de l'uni est le seuil 05. Le tableau suivant présente les positions des profils réalisés

Tab 08 : les profils

Piste (07L/25R)	Positions des profils			
	Axe	3.5 mètres de part et d'autre de l'axe de la piste	07 mètres de part et d'autre de l'axe de la piste	12 mètres de part et d'autre de l'axe de la piste
Nombre profil	01	02	02	02

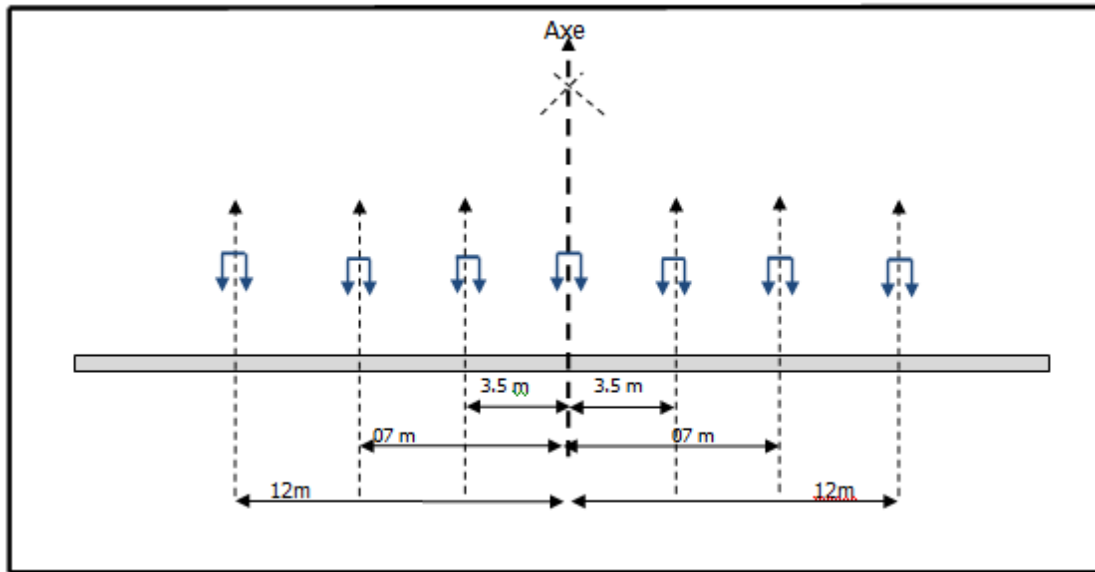


Fig. 2 : Les profils ausculte APL

### III.3.1 Analyse des résultats :

Tableaux suivants donnent les valeurs moyennes d'IRI de chaque profil par trois sections. Les profils en long obtenus sont portés dans l'annexe.

Tab 9 : Tableau de valeur d'IRI

Profils	Piste d'atterrissage (05/23)							
	IRI (0.00 – 1.00 km)		IRI (1.00 – 2.00km)		IRI (2.00 – 3.00 km)		IRI moyen (m/km)	
	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite	Gauche	Droite
Axe	2.56	2.71	2.01	1.96	2.35	2.23	2,31	2,30
3.5 d	2.81	2.51	1.96	2.07	2.15	2.39	2,31	2,32
3.5 g	3.26	2.94	2.04	2.10	2.70	2.73	2,67	2,59
7 d	2.87	2.97	2.16	2.03	2.27	2.19	2,43	2,40
7 g	2.98	2.73	2.01	1.86	2.58	2.57	2,52	2,39
12 d	2.97	3.48	2.45	3.20	2.93	3.72	2,78	3,47
12 g	4.06	3.51	4.17	2.94	4.11	3.26	4,11	3,24

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

Selon ces résultats nous pouvons dire :

Les valeurs moyennes d'IRI obtenus varient entre 2.30 et 4.11 m/Km, avec une moyenne de 2.70 m/km, pour les profils (axe, 3.5d, 3.5g, 7d, 7g) l'état de planéité dans l'ensemble est jugé moyen, bien que-il jugé moyen à mauvais pour les profils (12d, 12g).

Dans le tableau suivant, on donne pour chaque profil, la valeur d'IRI max et les pourcentages d'IRI caractérisant les différents états de planéité:

**Tab10 : Tableau de valeur d'IRI max**

Profile	IRI (Max)	Positions	% (IRI>10)	% (5≤IRI<10)	% 2.5≤IRI<5	% IRI<2.5
			Très mauvais	Mauvais	Moyen	Acceptable
Axe	6.87	2.04 - 2.05	00	1.98	15	83
3.5d	9.34	0.20 – 0.21	00	1.65	14.52	83.92
3.5g	9.53	0.20 - 0.21	00	01	19.47	79.52
07d	9.98	0.20 – 0.21	00	1.32	19.14	79.53
07g	10.28	0.20 – 0.21	0.30	1.98	22.44	75.57
12d	12.09	0.20 – 0.21	0.30	4.95	44.55	50.49
12g	12.4	2.23 – 2.34	01	10.56	51.15	37.28

- Les profils centraux (axe, 3.5d, 3.5g, 7d, 7g) présente un état de planéité moyen dont les pourcentages des valeurs d'IRI caractérisant l'état de planéité "acceptable" dépassent les 75 % bien que ceux caractérisent l'état de planéité mauvais varient de 01 à 1.98% ;
- Les profils latéraux (12d, 12g) présente un état de planéité moyen à mauvais dont les pourcentages des valeurs d'IRI caractérisant l'état de planéité "acceptable" ne dépassent pas les 51 % bien que ceux caractérisent l'état de planéité mauvais varient de 4.95 à 10.56%. non négligeant la présence de quelques endroits où l'uni est jugée très mauvais ;
- Les profils (3.5d, 3.5g, 07d, 07g, 12d) présente ces valeurs maximales d'IRI au niveau de la zone comprise entre PM200 et le PM210.

### III.4 Reconnaissance géotechnique

#### III.4.1 Campagne de carottage

Une campagne de carottage a été effectuée sur la piste d'atterrissage et ses annexes, afin de vérifier l'épaisseur de la couche bitumineuse (béton bitumineux, grave bitume) et de déterminer l'ampleur et la profondeur des fissures, le schéma suivant présente les notations des bandes d'épandage de la piste 05/23.



## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

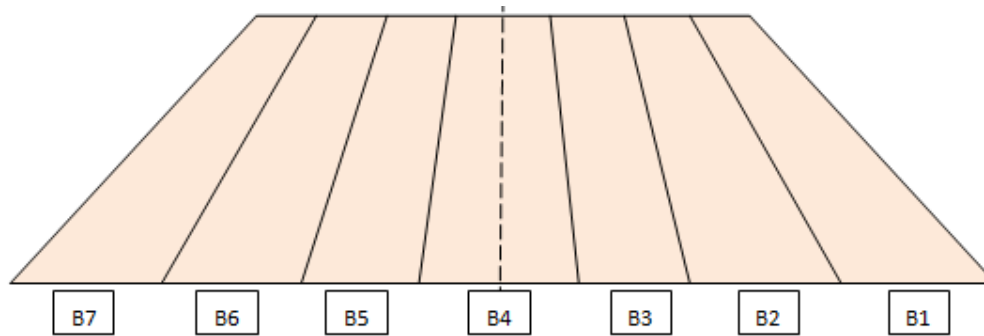









Fig.3 : profils de compagne géotechnique




Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

PM	Positions	Epaisseur BB	Epaisseur GB	Accrochage	Photos de la carotte
0+100	(B4) au niveau de l'axe de la piste sur un joint longitudinal colmaté	08	12	Mauvais	
0+300	(B2) sur une fissure transversale	08	12	Bon	
0+500	Joint d'épandage colmaté entre (B5) et (B6)	08.50	15.0	Bon	

### Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

0+700	(B2) sur un joint transversal colmaté	08.00	23.0	Bon	
0+900	(B3) sur une fissure longitudinale	8.00	25.00	Mauvais	
1+200	(B3) sur une zone intacte	8.00	25.50	Bon	
1+600	Joint d'épandage colmaté entre (B5) et (B6)	8.00	16.00	Mauvais	

### Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

2+000	(B6) sur une fissure longitudinale non colmatée	8.00	20.00	Mauvais	
2+500	(B1) sur une fissure transversale non colmatée	8.00	21.50	Bon	
2+900	(B4) axe de la piste	8.00	22.00	Mauvais	

A l'issue de cette campagne de carottage, on peut déduire ce qui suit :

L'épaisseur de la couche bitumineuse (BB+GB) pour la section comprise entre PM 0+000 et PM 0+600 est environ 20cm ; bien qu'elle est environ 30cm pour le reste de la piste.

Les carottes prélevées au niveau des joints ont montré que les fissures sont profondes et le colmatage est superficiel.

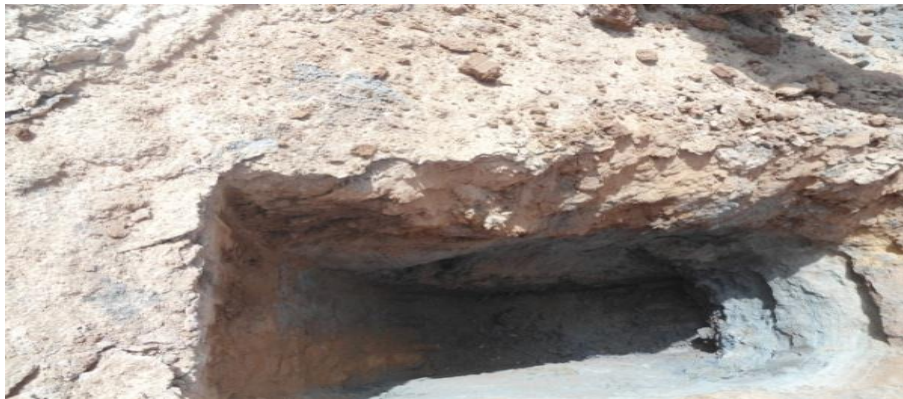
Les carottes prélevés des joints montrent que les fissures sont nuées en surface est propage vers les couches inférieures, chose reflétant la contribution des conditions climatiques dans la dégradation de la chaussé.

### III.4.2 Creusement des puits

La reconnaissance géotechnique des matériaux constituant le sol support a été réalisé par des puits creusés au niveau du terrain avoisinant de la piste Les constatations faites ont été résumées comme suit :

#### **P1 (N 27° 15' 31.8'' E 002° 31' 27.7'')**

- 0 – 0.90m : limon sableux brunâtre;
- 0.90 – 2.00 m : sable grossier beigeâtre à rougeâtre légèrement humide;
- >2.00 – 2.80m : argile verdâtre à violacé, humide;



#### **P2 (N 27° 15' 31.7'' E 002° 31' 33.6'')**

- 0 – 0.20m : limon sableux brunâtre;
- 0.20 – 0.60 m : sable grossier beige à rougeâtre légèrement humide;
- 0.60 – 3.00 m : argile violacée humide ;



#### **P3 (N 27° 15' 41.7'' E 002° 31' 21.8'')**

- 0 – 0.20 m : sable grossier jaunâtre;
- 0.20 – 0.70 m : limon sableux brunâtre à marron;
- 0.70 – 1.30 m : sable grossier jaunâtre;
- 1.30 – 3.00m : argile violacée humide ;



## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah



### P4 (N 27° 15' 35.1'' E 002° 31' 12.3'')

- - 0.80 m : limon sableux brunâtre à marron humide
- 1.30 – 3.00m : argile violacée humide ;



### P5 (N 27° 14' 45.3'' E 002° 30' 05.2'') (puits réalisé sur une zone basse)

- - 0.20 m : sable grossier jaunâtre;
- 0.20 – 3.00m : argile violacée sec ;

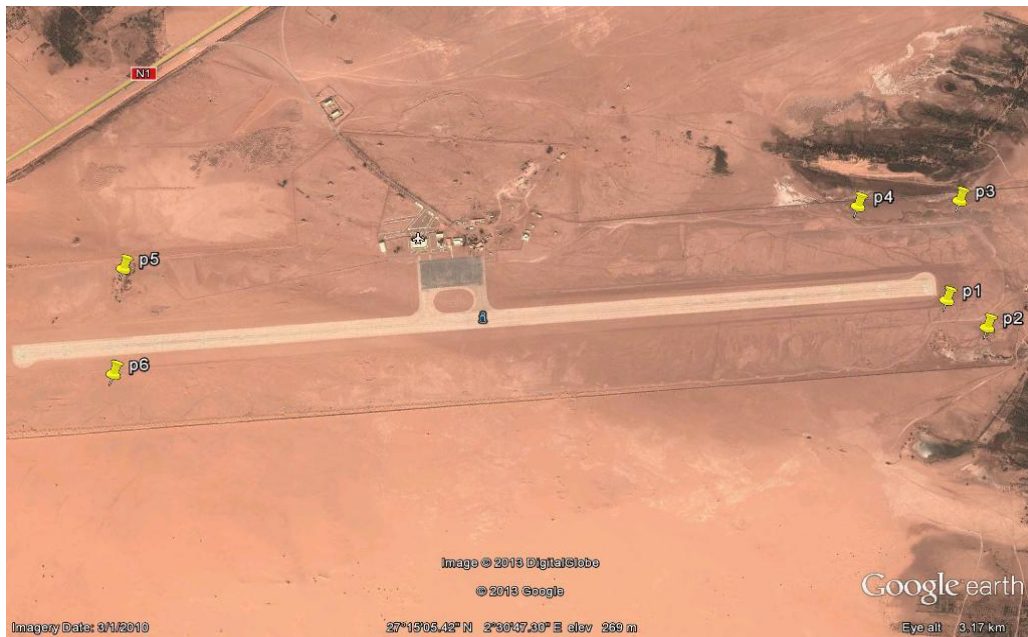


### P6 (N 27° 14' 35.0'' E 002° 30' 11.8'')

- 0 – 0.30 m : sable grossier jaunâtre;
- 0.30 – 1.40m : argile violacée sèche puits elle devienne humide avec la profondeur ;
- 1.40 – 2.00 m : sable grossier jaunâtre;
- 2.00 – 2.40m : argile violacée humide ;



Fig.4 : La photo satellite suivante mise en évidence les positions des puits implantés.



A l'issue de cette campagne de creusement des puits nous pouvons déduire que le terrain support de la piste d'envol de l'aérodrome de In-Salah est formé dans son côté Nord-est d'une couche de sable grossier jaunâtre, humide, moyennement épaisse environ 70cm, repose sur une couche d'argile verdâtre à violacé humide, bien que le côté Sud-ouest de la piste est formé d'une couche de sable grossier jaunâtre humide recouverte par une couche d'argile violacé, sèche près de la surface, les tous repose sur une argile violacé humide.

Lors de l'excavation du puits P05, nous avons remarqué que la couche d'argile est sèche et dure, nous rappelons aussi que ce puits est réalisé dans un endroit bas par rapport à la piste, directement dans la couche d'argile sise au-dessous de la couche de sable, chose suggérant que la couche de sable, avec sa perméabilité élevée, joue le rôle d'un collecteur d'eau hydratant le sous-sol de la piste.

### **III.5 Conclusion :**

Selon Les différentes méthodes d'auscultation réalisées ont permis de tirer les conclusions suivantes :

## Chapitre III : Etude Pratique cas Aéroport In Salah

---

- **Auscultation visuelle:**

-Le relevé de dégradation montre que la piste est infectée généralement à ces joints d'épandage longitudinaux et transversaux dont le degré de gravité est variable  
- les fissures sont colmatées au niveau de la bande centrale et les bandes latérales  
- la présence de quelques dégradations ponctuelles types gonflement

- **Auscultation au HWD**

- L'évaluation de la portance à l'aide de l'appareil HWD révèle, des modules relativement faibles pour les couches en matériaux bitumineux, la faible portance du sol support a montré aussi que la piste nécessite un renforcement.

- **Auscultation au profilometre :**

-Le contrôle de l'uni à l'aide de l'appareil profilomètre montre que les valeurs moyennes d'IRI obtenus sur la piste 05/23 de l'aérodrome de In Salah varient entre 2.30 et 4.11 m/Km, avec une moyenne de **2.70 m/km**, pour les profils (axe, 3.5d, 3.5g, 7d, 7g) l'état de planéité dans l'ensemble est jugé moyen, bien que-il est jugé moyen à mauvais pour les profils (12d, 12g), non négligeant la présence de quelques endroits au niveau de ces profils latéraux où l'uni est jugée très mauvais.

- **Campagne avec carottage :**

-La campagne de carottage révèle que l'épaisseur moyenne de la couche bitumineuse est de 21cm pour la section comprise entre PM0+000 et le PM 0+600 et de 30 cm pour la section comprise entre le 0+600 et 3+000, cette campagne montre aussi que les fissures franchissent toutes la couche bitumineuse et que le colmatage réalisé est superficiel

- **Campagne de creusement de puits :**

-La campagne de creusement des puits montre que le terrain support de la piste est formé dans son côté Nord-est d'une couche de sable grossier jaunâtre, humide, moyennement épaisse (environ 70cm), repose sur une couche d'argile verdâtre à violacé humide, bien que le côté Sud-ouest de la piste est formé d'une couche de sable grossier jaunâtre humide recouverte par une couche d'argile violacé, sèche près de la surface, les tous repose sur une argile violacé humide. La couche de sable rencontré lors de l'excavation des puits, avec sa perméabilité élevé, joue le rôle d'un collecteur d'eau hydratant le sous-sol de la piste.

# **Chapitre IV :**

## **Etude géotechnique**



### Chapitre IV : Etude géotechnique

#### Introduction :

L'exécution et le renforcement des aires de manœuvres 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.

#### IV.1 Essais d'identification

##### a) Analyse granulométrique (NF P18-560)

Cet essai a pour objet de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimensions Ou grosseurs.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous forme d'une courbe dite courbe granulométrique, cette analyse se fait en générale par un tamisage.<sup>1</sup>

##### b) Limites d'Atterberg (NF P 94-051)

Les limites d'Atterberg sont déterminées à l'aide d'un appareil appelé CASAGRANDE qui caractérise le comportement des sols fins en présence d'eau. Ces limites déterminent l'état du sol dans des différentes phases :

- Limite de plasticité ( $W_p$ ): c'est la limite où l'échantillon du sol passe de l'état solide à l'état plastique.
- Limite de liquidité ( $W_L$ ): c'est la limite où l'échantillon de sol passe de l'état plastique à l'état liquide.
- Indice de plasticité ( $I_p$ ) : il s'exprime en pourcentage correspondant à la Différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité :  $I_p = W_L - W_p$ .<sup>1</sup>

#### IV.2 Essais mécaniques

##### a) Essai PROCTOR MODIFIE (NF P 94-093)

L'essai PROCTOR consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et d'une teneur en eau, il a donc comme objectif la détermination de la teneur en eau afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol prévu pour l'étude qui correspond à une teneur en eau ainsi obtenue est appelée : optimum PROCTOR <sup>2</sup>

##### b) Essai CBR « Californien bearing ratio » (NF P 94-078)

C'est un essai qui a pour objectif d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, et ce afin de pouvoir dimensionner la chaussée.

## Chapitre IV : Etude géotechnique

---

L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement plus explicitement, les échantillons sont compactés dans des moules à la teneur en eau optimum (PROCTOR modifié) avec différentes énergies de compactage qui sont imbibés pendant 4 jours. L'essai CBR a été réalisé avec une énergie de compactage de 55 coups par couche pour chaque puits<sup>1</sup>

### **c) Teneur en eau naturelle, densité sèche et compacité (NF P 94-050)**

Pour classer mécaniquement le sol support et le sol de fondation, on doit procéder à la détermination de la teneur en eau naturelle « W » et la densité sèche «  $\gamma_d$  », ainsi la compacité, dans l'objectif d'apprécier la densité et le compactage du sol.<sup>2</sup>

Des échantillons ont été prélevés des puits creusés au niveau du terrain avoisinant de la route afin de déterminer les caractéristiques géotechniques des matériaux constituant le sol support. Ces échantillons ont été soumis aux essais en laboratoire dont les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tab 1 : Tableau résultats des analyses de sol

N° Puits	Analyse Granulométrique						Limite d'atterberg			Teneur en eau %	Densité g/cm <sup>3</sup>		Analyse chimique			OBS
	<5 mm %	<2 mm %	<0.2 mm %	<0.08 mm %	<0.02 mm %	<0.002 mm %	WL (%)	WP (%)	IP (%)		Densité humide	Densité sèche	INS (%)	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (%)	Caco <sub>3</sub> (%)	
P2 (0.6-3.00)	100	100	85	80	77	30	53.85	29.44	24.41	16.98	2.03	1.74	84.9	0.48	03	Argile
P3 (1.3-3.00)	100	99	96	95	86	43	73.06	30.19	42.87	22.13	1.92	1.57	82.1	1.89	02	Argile
P6 (0.3-1.40)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19.55	2.06	1.72	/	/	/	Argile
P6 (1.4-2.00)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3.31	/	/	/	/	/	Sable
P6 (2.0-2.40)	100	100	92	89	83	44	65.25	32.53	32.72	17.47	2.01	1.71	87.4	/	02	Argile

Ces résultats montrent que les échantillons prélevés du faciès argileux caractérisent un sol très plastique, peu carbonaté, peu gypseux, ayant indice de plasticité varie entre 24 et 42%, un degré de saturation varie entre 81 et 93% et un taux de fines (<0.08 mm) dépasse les 80%. La classification de ce sol selon leur nature avec le guide technique de la réalisation des remblais et des couches de forme - fascicule II de LCPC – montre que le sol est appartient à la **classe A** des **sols fins** dans les sous classe A<sub>2</sub> ; A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>.

Le sol rencontré est caractérisé par une perméabilité très réduite. Ce qui permet de former un écran non drainant des eaux d'irrigation.

### IV.3 Analyse des enrobés

D'après les carottages effectués sur les aires de manœuvres de l'aérodrome d'in Salah on a fini de déduire qu'il existe plusieurs couches d'enrobé.

Le moyen utilisé pour l'extraction d'un modèle de la chaussée est le carottage (prélèvement d'un nombre suffisant de carottes) ; Ces données nous ont permis d'adopter le modèle à trois couches suivant;

- La première est en produits bitumineux (matériaux traités au liant hydrocarboné, Grave Bitume **GB** et Béton Bitumineux **BB**), les épaisseurs de cette couche sont données dans le tableau (campagne de carottage);
- Le deuxième est en Grave Non Traité **GNT** sur une épaisseur de 500 mm;
- la dernière couche est semi infinie, il s'agit du sol support de nature argileuse.

Selon les résultats de la campagne de carottage deux modèles différenciés dans l'épaisseur de la couche 01 ont été adoptés ;

**Modèle 01** : du PM0+000 au PM 0+600 ; couche 01 (210mm), couche 02 (500mm)

**Modèle 02** : du PM0+600 au PM 3+000 ; couche 01 (310mm), couche 02 (500mm)

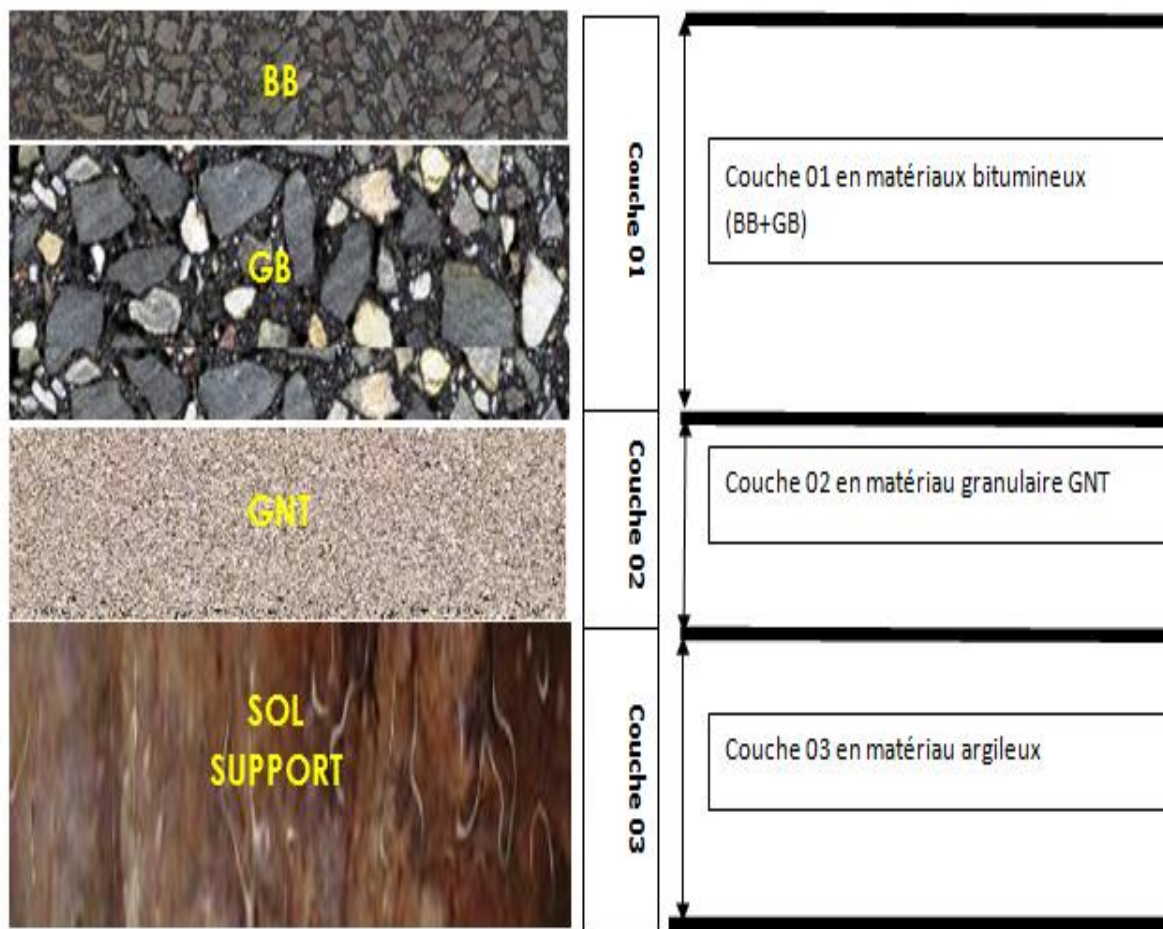


Fig. 1 : les différentes couches de chaussée

# **Chapitre V :**

## **Dimensionnement**

### Chapitre V : Dimensionnement

#### Introduction :

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

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

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

#### **V.1 Constitution des chaussées aéronautiques**

Les chaussées des aérodromes sont constituées de différentes couches de matériaux

##### **V.1.1 Chaussée souple**

Le revêtement de la chaussée souple est à base du liant hydrocarboné -Bitume- qui comprend Trois couches définies du haut en bas comme suit :

- **Couche de surface**

Cette couche est en contact directe avec les pneumatiques des aéronefs, elle a comme rôle de transmettre les efforts extérieurs aux couches inférieures, elle est composée par une couche de roulement et d'une couche de liaison. La couche de surface a aussi le rôle :

- D'imperméabiliser la surface de la chaussée ;
- D'assurer la sécurité - adhérence - et le confort des usagers {bruit, uni }

- **Couche de base**

C'est une couche supportant des efforts importants qu'elle doit transmettre à la couche de fondation avec une bonne répartition. Elle doit être constituée par des matériaux de très bonnes qualités.

- **Couche de fondation**

C'est une couche sur laquelle repose les couches supérieures qui intervient donc dans La résistance de la chaussée en faisant répartir les efforts "contraintes normales vers le sol support ou la couche de forme si celle-ci existe. Elle peut être exécutée avec des matériaux se trouvant sur place ou avec des matériaux d'apport.

### V.2 Rappelle sur les méthodes de renforcement

#### V.2.1 Méthode empirique « STBA » :

Pour la détermination des épaisseurs de renforcement nécessaires pour les chaussées auscultées, nous avons utilisé la méthode empirique du service technique des bases aériennes (STBA) basée sur le trafic et la portance du sol (CBR).

- **Dimensionnement forfaitaire :**

Lors de dimensionnement, cette méthode prend en considération l'évolution d'un type d'avion nettement le plus fréquent de l'aérodrome concerné sur une hypothèse de trafic de dix mouvements par jour pendant dix ans.

La méthode française de dimensionnement des chaussées aéronautiques s'appuie, pour les chaussées souples, sur l'équation CBR (californien Bearing ratio) et pour les chaussées en béton de ciment, sur les équations de Westergaard. Contrairement à la méthode suivie pour dimensionner les chaussées routières, il n'existe pas d'essieu de référence dans le domaine aéronautique.

L'atterrisseur principal de chaque avion (roue simple isolée - RSI, tandem ou boggie) est ramené à une roue simple équivalente (RSE) produisant les mêmes effets sur la chaussée.

La durée de vie retenue pour une chaussée souple est de 10 ans, Contrairement à une chaussée rigide qui elle, est dimensionnée pour une durée de vie de 20 ans

- **Dimensionnement optimisé :**

Différemment au dimensionnement forfaitaire qui ne prend en compte qu'un type d'avions, celui optimisé ne permet de dimensionner d'une structure de chaussée qu'en tenant compte de plusieurs types d'avions, leurs fréquences et leurs charges respectives, pour une durée de vie bien déterminée .

La méthode présente l'avantage de convertir les mouvements réels de chacune des charges et atterrisseurs considérés en mouvements équivalents de même charge de référence ; de noter que le (charge et atterrisseurs, nombre de mouvements), sont équivalents quand ils produisent la même fatigue (chaussée et sol support)

### V.3 Calcul de renforcement

Le dimensionnement des chaussées a pour objet d'établir l'épaisseur et la Nature des différentes couches nécessaires à l'accueil d'un trafic attendu.

Dans notre projet nous avons calculés le renforcement avec 2 méthodes :

- **Méthode ACN- PCN**
- **Renforcement à l'aide de HWD**



### Avion critique :

D'après les informations données par le DTP Tamanrasset, la piste sera dimensionnée pour supporter un avion du type B737-800.

Tab1 : caractéristiques d'avion critique

Avion	Masse totale au roulage M (KG)	Pourcentage de distribution de la charge totale sur atterrisseur principale (%)	Pression totale de gonflage des pneumatiques q (MPA)
B737-800	79243	46,9	1,47

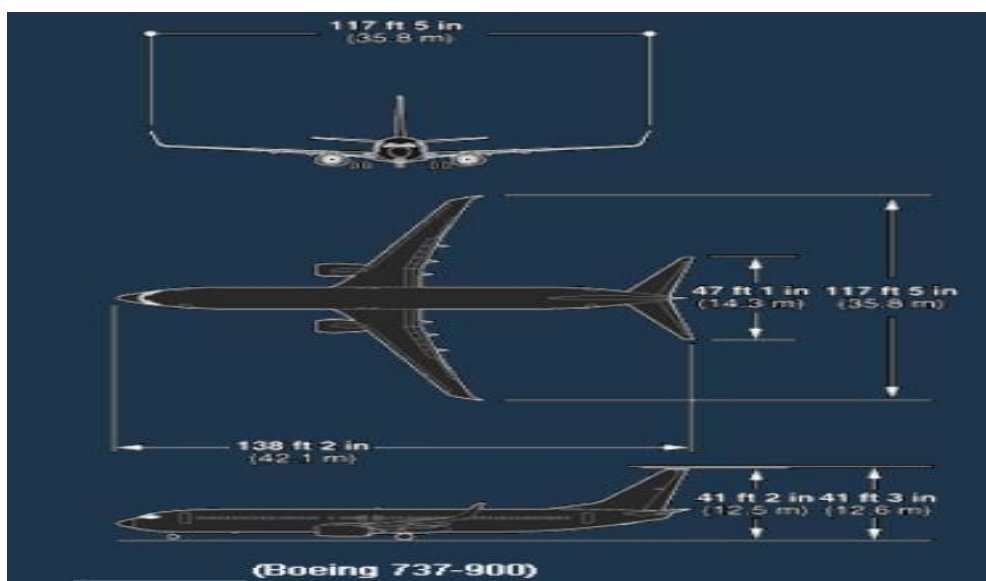


Fig. 1 : Boeing 737 - 800

### V.3.1 Méthode ACN/PCN:

La méthode ACN/PCN est le système international normalisé élaboré par l'Organisation d'Aviation Civile Internationale (O.A.C.I) qui vise à fournir des renseignements sur l'admissibilité d'un avion en fonction de la résistance des chaussées de la plateforme concernée. Cette méthode est applicable depuis 1983, par l'ensemble des états membres pour la gestion de leurs aérodomes.

#### **ACN (Aircraft Classification Number) :**

Est un nombre exprimant l'effet d'un avion de type donné sur une chaussée de type donné (souple ou rigide).

La détermination des ACN d'après un calcul normalisé imposé par l'OACI

#### **PCN (Pavement Classification Number) :**

Est un nombre exprimant La portance d'une chaussée donnée. La détermination des PCN est laissée à l'appréciation de chaque Etat. Selon ses propres méthodes de dimensionnement.

## Chapitre V : Dimensionnement

Le principe général de cette méthode est le suivant : un avion dont L' ACN est inférieur ou égal au PCN d'une chaussée peut utiliser cette chaussée sans autre restriction que celle pouvant être liée à la pression de ses pneumatiques.

La pression de gonflage des pneumatiques: q des atterrisseurs de l' avion considéré.

**Masses:** les masses des avions nécessaires à l' application de la méthode ACN-PCN résidant dans:

- La masse maximale de roulage M.
- La masse à vide en ordre d'exploitation m.

**RSE:** (Roue Simple Equivalente à un atterrisseur) charge sur une roue Simple qui produit à une profondeur donnée de la chaussée les mêmes Contraintes que l' atterrisseur considéré.

**RSI:** Roue Simple Isolée gonflée à 0,6MPa, caractéristique de la portance de la chaussée considérée.

### Valeurs type utilisées:

Les ACN des avions ne sont calculés que pour 4 catégories de sol support Caractérisées chacune par un CBR (chaussées souples)

		ACN for flexible pavements				ACN for rigid pavements			
		Subgrade category				Subgrade category			
		High	Med.	Low	Very low	High	Med.	Low	Very low
Weight, max	<input type="checkbox"/>	44	46	51	56	51	53	55	57
Weight, min	<input type="checkbox"/>	21	22	24	28	23	25	26	27

Fig.2 : valeur ACN

Les catégories de résistance du terrain de fondation sont définies comme suit:

- **Résistance élevée CBR = 15** et représentant toutes les valeurs CBR supérieurs à 13 pour les chaussées souples
- **Résistance moyenne CBR = 10** et représentant une gamme de valeurs CBR de 8 à 13 pour les chaussées souples
- **Résistance faible CBR =6** représentant une gamme de valeurs CBR de 4 à 8 Pour les chaussées souples,
- **Résistance ultra faible CBR = 3**Représentant toutes les valeurs CBR inférieur à 4 pour les chaussées souples.

## Chapitre V : Dimensionnement

Pour des raisons de sécurité on prend en considération les CBR les plus défavorables, donc on prend un CBR représentatif qui est égale à 5.

### V.3.2 Épaisseurs et coefficient d'équivalences des chaussées existantes

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

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

Tab 2 : les coefficients d'équivalences

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux neuf	2
Béton bitumineux peu fissuré	1.5
Béton bitumineux très fissuré	1.2
Grave bitume neuf	1.5
Grave bitume usé	1.2
Grave non traité	1
Grave non traité usé	0.5

### V.3.3 Détermination des épaisseurs de notre projet

D'après les sondages carottés effectués sur les aires de manœuvre de l'aérodrome D'in Salah, nous avons mesuré les épaisseurs des couches constituant la structure de la chaussée, ainsi de déterminer les épaisseurs de renforcement, en différenciant l'épaisseur équivalente calculée pour une chaussée neuve et l'épaisseur équivalente de la chaussée existante.

Dans les tableaux suivants nous allons déterminer les épaisseurs de différentes couches Nous utilisons les épaisseurs des carottes de la bande **B3 PM 0+ 900**

Tab 3 : Epaisseur équivalente

matériaux	Epaisseur existent (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalent (cm)
BB	8	1.5	12
GB	25	1.2	30
GNT	50	0.5	25

Epaisseur équivalent est : **67 cm**

## V.4 Calcul des épaisseurs de renforcement pour la piste principale :

### V.4.1 Application de la méthode ACN~PCN.

#### A - Nature de la chaussée

Les épaisseurs retenues à partir du dimensionnement par la méthode STBA présentent une structure de chaussée souple composée des couches de nature bitumineuse (BB+GB) et des couches de nature granulaire (GNT+Tuf).

## Chapitre V : Dimensionnement

---

### B - Caractéristiques de la chaussée

L'épaisseur équivalente du corps de chaussée de la piste est de 67cm ;

### C - Résistance du sol support:

Le sol support de notre cas c'est la couche d'argile. L'indice CBR obtenu sur les échantillons analysés est en moyenne de 5%.

### D - Détermination de la RSI – (Roue simple isolée)

Sur la base des caractéristiques déterminées des différentes couches, de l'épaisseur équivalente totale et de l'indice CBR du sol support de la piste d'atterrissage, procédé au calcul de la RSI par la formule CBR du corps of engineers :

$$RSI = (e^2/1000) \times [6.12 / ((4.251 - 5.013 \times \log(CBR/0.6) + 2.426 \times (\log(CBR/0.6))^2 - 0.473 \times (\log(CBR/0.6))^3)^2)]$$

- ✓ e : en cm ;
- ✓ RSI : en tonnes ;
- ✓ Log : logarithme décimal.

Pour une épaisseur équivalente totale de 67 cm et un CBR de 5%, pour le sol support de la plateforme de la piste, la formule donne une (RSI).

$$RSI = 15.66 \text{ tonnes}$$

### V.4.2 Calcul du PCN :

Le PCN se définit comme le produit de la RSI par un coefficient fonction du CBR et de la catégorie de résistance du sol de fondation (sol support)

$$PCN = H (CBR) * RSI$$

H (CBR) est un coefficient fonction du CBR et de la catégorie de résistance du sol support associé.

H (CBR) est tiré de l'Abaque ci-joint.

Pour la catégorie de résistance de sol de support « c » et un CBR de 5%.

$$H (CBR) = 1.5$$

$$PCN = H (CBR) * RSI = 23.50$$

### V.4.3 Calcul de l'ACN :

Les ACN des principaux avions existants ont été calculés et publiés par l'O.A.C.I., ils sont fournis pour chaque type de chaussée sur la base des quatre catégories de résistance de sol support.

Pour un avion type Boeing 737-800 (M max = 79243 kg), une chaussée souple et un CBR de 05 (C) pour le sol de fondation de la plateforme l'ACN est de 51

## Chapitre V : Dimensionnement

On remarque que l'ACN (**51**) est supérieur au PCN (**23.50**), donc l'épaisseur obtenue par la méthode STBA pour la piste est non vérifiée. Donc on doit majorer l'épaisseur obtenue pour la piste soit **e= 100cm**

Pour une épaisseur équivalente totale de **100 cm** et un CBR de **5%**, pour le sol support de la plateforme de la piste, la formule donne une RSI.

$$\text{RSI} = 34.96 \text{ tonnes}$$

$$\text{PCN} = \text{H (CBR)* RSI} = 52$$

Dans ce cas l'épaisseur proposée (**e=100cm**) pour la piste est vérifiée

### V.5 Renforcement à l'aide de HWD

#### V.5.1 Durée de vie et réhabilitation

L'évaluation de la durée de vie et le renforcement moyen a été faite par le logiciel ELMOD6. Les résultats trouvés sont représentés dans le tableau suivant :

Tab 4 : Durée de vie et Renforcement

Profils	Nombre de stations	Trafic 10 m/j	Renforcement en (mm)
		« D » Durée de vie moyenne (ans)	
Axe de la piste	101 points	<b>D = 2.8 Ans</b>	<b>189</b>
3.5ml A droite de l'axe central de la piste	101 points	<b>D = 3.4Ans</b>	<b>172</b>
3.5ml A gauche de l'axe central de la piste	101 points	<b>D = 4.3Ans</b>	<b>153</b>
7ml A droite de l'axe central de la piste	51 points	<b>D = 2.2 Ans</b>	<b>216</b>
7ml A gauche de l'axe central de la piste	51 points	<b>D = 3.2Ans</b>	<b>188</b>
12ml A droite de l'axe central de la piste	26 points	<b>D = 2.3 Ans</b>	<b>210</b>
12ml A gauche de l'axe central de la piste	26 points	<b>D = 5.5Ans</b>	<b>132</b>
moyenne		<b>3.3ans</b>	<b>180</b>

Le renforcement moyen obtenu par l'appareil HWD pour la piste après un fraisage de 06 cm de la couche de roulement est d'environ les 180mm avec une durée de vie moyenne de **3.3ans**.

#### V.5.2 Solutions proposées

La combinaison de solutions obtenues à travers les deux méthodes montre ce qui suit :

## Chapitre V : Dimensionnement

### Solution à court terme

	Epaisseur existante	Epaisseur Existant après fraisage	Epaisseur résiduelle équivalente (GNT)	Epaisseur de nouveau corps de chaussée (GNT)	Epaisseur de renforcement (GNT)
<b>Piste</b>	33(BB+GB) +50 (GNT+tuf)	27(BB+GB) +50 (GNT+tuf)	58	100	42

➤ **Renforcement  $42(\text{GNT}) = 10\text{BB}+15\text{GB}$**

### **Solution à long terme :**

A long terme la piste nécessite une réfection totale de la piste avec l'intégration de la nappe de géo membrane et la couche granulaire.

### **1<sup>ère</sup> proposition : renforcement à court terme**

L'application des méthodes de renforcement des chaussées a donné la solution suivante :

#### **Piste :**

- Fraisage de la couche de roulement sur 06cm ;
- Soufflage de la section fraisée et traitements des fissures ;
- Réalisation d'une couche d'accrochage en émulsion
- Réalisation d'une couche de reprofilage en **BB (0/10)** sur **04cm** ;
- Réalisation d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en place d'une nappe en géo grille;
- Réalisation d'une couche de **15cm** en grave bitumes **GB (0/20)**;
- Réalisation d'une couche d'accrochage en émulsion;
- Réalisation d'une couche de **10cm** en béton bitumineux **BB (0/14)**.

### **2<sup>ème</sup> proposition : renforcement à long terme**

La solution à long terme nécessite de reconstituer le sol devant recevoir la piste sur une profondeur suffisante (min 1.00m) et de reconstruire le corps de chaussée avec la mise en place d'une nappe en géo membrane (imperméable d'eau) et une couche granulaire au dessous du corps de chaussée, comme cette solution est très lourde, en coût et en durée, la réalisation d'une nouvelle piste secondaire devenant la solution préférée.

# Conclusion



### Conclusion :

Après une étude détaillée de notre projet qui consiste à renforcer l'aérodrome d'IN SALAH, et vu l'importance de cette infrastructure de grande envergure dont la contribution au développement régional et national non négligeable, nous sommes arrivés à conclure que l'aérodrome de In Salah nécessite en effet une réfection proprement dite mais vue la crise économique que vit notre pays nous avons opté à un renforcement afin qu'il soit plus opérationnel et performant et répondre aux exigences nécessaire de la aéronautiques.

Pour la bonne exécution de ce renforcement, il faut faire un bon diagnostic visuel et une auscultation aux machines adéquates ; et de donner toujours l'importance au travail avec les nouvelles technologies d'auscultation.

Enfin, ce projet de fin d'étude 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 en bétons bitumineux et l'auscultation avec HWD et profilometre qui représente un bon moyen de prise de décision quant aux renforcements des chaussées dans le domaine des travaux publics et en particulier les aérodromes. Les avantages qu'offre ces outils lors et après leur utilisation dans un projet sont énorme et assez bénéfiques.

Une telle étude a été une occasion pour nous de bénéficier des connaissances et de l'expérience des cadres du LTPS GHARDAIA d'une part, et d'autre part d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour l'élaboration un projet de travaux publics à l'avenir.