

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Préparé par :

GUELLIL Abdellah
MOUMED Mohamed

En vue de l'obtention du diplôme de Master en :

Filière : **Génie Civil**
Option : **Structure**

Thème :

**Étude de renforcement de la piste d'atterrissage de l'aérodrome d'IN
SALAH et ses infrastructures**

Examiné par :

Mr Saoudi.B
Mr Hami.B
Mr Reffas.B

UAMOB
UAMOB
UAMOB

MAA
MCB
MAA

Encadrant
Président
Examinateur

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier le Dieu tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la patience pour mener à bien ce modeste travail.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens, leurs patiences et toutes les aides matérielles et morales qui nous ont accordés durant toute la période de notre formation.

Comme guise de reconnaissance, nous adressons nos sincères remerciements, notre grand respect et noble gratitude à notre encadrant **Mr SAOUDI Brahim**, pour nous avoir guidés dans la réalisation de cette étude et le soutien scientifique et moral qu'il nous a apporté.

Au bureau d'étude **SAETI** : Société algérienne d'étude et d'infrastructures, qui nous a fournis les données nécessaires à l'établissement de ce travail.

Par la même occasion, nous tenons à exprimer notre gratitude à :

Mr SIDALI Farid, Directeur opérationnel des ouvrages aéroportuaires, qui nous a dirigés tout au long de cette étude d'une manière exceptionnelle et pour toute son aide technique.

Nous ne saurons oublier sa constante disponibilité.

Nos vifs remerciements iront aussi aux examinateurs qui nous feront l'honneur de juger et d'enrichir ce travail par leurs propositions.

Que l'ensemble des enseignants qui ont contribué à notre formation et le personnel du département du génie civil veuillent trouver ici l'expression de notre profonde reconnaissance.



DÉDICACES

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que je dédie à : A mon cher père qui n'a pas cessé de m'encourager et de se sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études et rien n'aurait été possible

sans lui, que dieu me le garde en très bonne santé.

A ma plus belle étoile qui puissent exister dans l'univers ; ma chères

mère, celle à qui je souhaite une très longue vie.

A mon cher frère : Walid.

A ma chère sœur : Ikram

A toute ma grande famille,

A mon ami : Moumed Mohamed

A mes chers amis : Saleh, Houssein, Mohamed, Imad, Lotfi, Hamza, Ali

A toute la promotion spécialement : Samir, Meriem, Walid, Mahdi,

Adel, Hamza, Idriss (Et la liste ne se termine pas).

*A tous ceux que j'ai oubliés qui m'ont apporté d'aide **et soutien durant***

ces années de formation.

Merci à tous.

GUELLIL Abdellah



DÉDICACES

Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir

ce travail, que Je dédie à :

Mes parents, pour votre amour, soutien, confiance et sacrifices ; que dieu vous gardes en très bonne santé. Rien n'aurait été possible sans vous.

A mon frère : Ishak.

A mes chères *sœurs*.

A mes oncles et mes tantes, ainsi que leurs familles.

A toute ma grande famille, la famille MOUMED.

A mes très chères amies, vous qui m'avez toujours aidé, et donné la volonté d'avancer :

Abdelmonaim , Ahmed, Larbi, Inès, Mohammed , Habib (Et tous ceux que j'ai oubliés).

A mon ami que je remercie pour sa patience.

A toutes les promotions 2021 , spécialement mes camarade de la promo Structures.

A tous ceux que j'ai oubliés et qui comptent pour moi.

Merci à tous.

MOUMED Mohamed

Résumé

Cette étude réalisée sur le renforcement de la piste d'aérodrome d'IN SALAH et ses infrastructures.

L'entretien des ouvrages aéroportuaires nécessite une politique basée sur des études de diagnostic et d'auscultation qui permis de bien identifier les problèmes que l'ouvrage a connus dans son historique .

L'auscultation est réalisée avec plusieurs méthodes : visuelle, au HWD, au profilomètre, et reconnaissance géotechnique.

Le calcul de renforcement est basé sur trois méthodes qui sont : méthode ACN PCN, méthode forfaitaire de STBA et la méthode de logiciel ELMOD 6.

Mots clés : renforcement, ACN .PCN, ELMOD 6, HWD, profilomètre.

Abstract

This study carried out on the reinforcement of the IN SALAH airfield runway and its infrastructures.

The maintenance of airport structures requires a policy based on diagnostic and auscultation studies which make it possible to clearly identify the problems that the structure has experienced in its history.

Auscultation can be found with several methods: visual, HWD, profilometer, and geotechnical reconnaissance.

The reinforcement calculation is based on three methods which are: ACN PCN method, STBA flat rate method and the ELMOD 6 software method.

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

المخلص

أجرى بهذه الدراسة على تدعيم مدرج مطار عين صالح والبنية التحتية التابعة له.

تتطلب صيانة هياكل المطار اتسياسة تستند إلى الدراسات التشخيصية والفحص التي يمكن من تحديد المشكلات التي تواجهها الهيكلية التي
ريخه بوضوح.

يتم التشخيص بعدة طرق: البصري، HWD، مقياس البروفيل، والاستطلاع الجيوتقني.

يعتمد حساب التعزيز على ثلاث طرق هي: طريقة ACN PCN، طريقة STBA وطريقة برنامج ELMOD 6.

الكلمات المفتاحية: التعزيز، ACN PCN، ELMOD6، مقياس البروفيل.

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces	II
Dédicaces	III
Tables des matières	IV
Liste des tableaux	V
Liste des figures	VI
Liste des abréviations	IX
Introduction générale.....	X

Chapitre I : Étude préliminaire et caractéristiques géométriques

Présentation	P 01
Informations de l'aérodrome.....	P 02
Définitions.....	P 03
Aérodrome.....	P 03
Aéroport	P 03
Aire de mouvement.....	P 03
Destination des aerodromes	P 03
Classification des aerodromes.....	P 03
Les chaussées aéronautiques.....	P 03
Les Aéronefs	P 04
Les Aérogares	P 06
La Tour de contrôle et la Vigie	P 06

Chapitre II : Généralités sur les dégradations

Introduction.....	P 07
Généralités sur les dégradations des chaussées aéronautiques	P 07
Définitions et types des dégradations.....	P 07
a) Cas des chaussées souples.....	P 07
1. Les fissures.....	P 08
2. Les arrachements.....	P 09

3. Les déformations.....	P 11
4. Autres dégradations.....	P 13
b) Cas des chaussées rigide	P 15
1. Dégradations de structure.....	P 15
2. Dégradations de surface	P 17
3. Autres dégradations.....	P 18
Facteurs influent sur les dégradations	P 20

Chapitre III : L'étude géotechnique du site

Introduction.....	P 21
But de l'étude géotechnique	P 21
Auscultation visuelle de la chaussée	P 22
Compagne de reconnaissance géotechnique	P 22
Essais In Situ	P 22
a) Campagne de carottage	P 22
b) Campagne de creusement des puits	P 26
c) Vérification de l'état de surface avec l'essai de L'UNI.....	P 28
d) Mesure de la portance	P 31
e) Modules à la surface E_0	P 36
Essais au laboratoire.....	P 38
a) Essais d'indentification	P 38
1. Analyse granulométrique et sédimentométrique	P 38
2. Limites d'Atterberg.....	P 39
3. Teneur en eau et Densité.....	P 39
4. Analyse chimique sommaire.....	P 39
b) Essais mécaniques.....	P 39
1. Essai CBR « Californian Bearing Ratio ».....	P 39
c) Les résultats des essais en laboratoire.....	P 40
Conclusion.....	P 41

Chapitre IV : Dimensionnement et Renforcement

Introduction	P 42
--------------------	------

Constitution des chaussées aéronautiques.....	P 42
a) Chaussée souple	P 42
b) Chaussée rigide	P 43
Critères de choix d'un type de chaussée	P 44
Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques	P 44
Méthode forfaitaire	P 44
a) Choix de la charge réelle de calcul « P »	P 44
b) Calcul de charge pondérée « P' » et coefficients de pondération	P 44
c) Charge normale de calcul « P'' »	P 45
d) Calcul de l'épaisseur équivalente (Ee) par la formule CBR	P 45
Méthode ACN-PCN	P 47
a) Définition de l'ACN et PCN	P 47
b) Principe général de la méthode	P 47
c) Détermination des ACN	P 47
d) Détermination des PCN	P 49
e) Évaluation technique du PCN	P 49
f) Dimensionnement par la méthode ACN-PCN	P 51
Méthode HWD « Programme ELMOD 6 »	P 51
Application de la méthode forfaitaire	P 52
La charge réelle P	P 52
La charge pondérée P'	P 52
La charge normale P''	P 53
L'épaisseur équivalente (Ee)	P 53
Calcul des épaisseurs réelles des couches de chaussée	P 54
Calcul des épaisseurs équivalentes résiduelles des chaussées existantes	P 55
Détermination des épaisseurs de renforcement	P 56
Résumé des résultats du renforcement obtenu et leur mise en œuvre ...	P 57
La géogridde	P 59
a) Rôle des géogriddes	P 60
b) Caractéristiques techniques des géogriddes	P 60

c) Mise en œuvre de la géogriddeP 60

Conclusion.....P 65

Liste des Tableaux

Tableau III.1 : Résultats des sondages carottés	P 23
Tableau III.2 : les positions des profils réalisé	P 29
Tableau III.3 : Résultats des Valeurs Moyennes de l'IRI pour la Piste 05/23.....	P 30
Tableau III.4 : Résultats des valeurs de l'IRI Max et leurs Pourcentage (Piste 05/23).....	P 31
Tableau III.5 : Les intervalles de mesure au niveau de chaque profil	P 33
Tableau III.6 : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK0+000 au PK 0+600.....	P 35
Tableau III.7 : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK0+600 au PK 3+000.....	P 35
Tableau III.8 : Récapitulatif des déflexions enregistrées sur le Parking	P 36
Tableau III.9 : Moyennes des Modules en surface du PK0+000 au PK0+600	P 37
Tableau III.10 : Moyennes des Modules en surface du PK0+600 au PK3+000	P 37
Tableau III.11 : Moyennes des Modules en surface des 03 profils du Parking.....	P 38
Tableau III.12 : Résultats des tous les essais au Laboratoire	P 40
Tableau IV.1 ACN de l'avion B737-800	P 48
Tableau IV.2 Catégories de sol support	P 49
Tableau IV.3 L'indice PCN	P 49
Tableau IV.4 Résultats des charges pondérées	P 53
Tableau IV.5 Résultats des charges normales.....	P 53
Tableau IV.6 Les résultats des épaisseurs équivalentes.....	P 54
Tableau IV.7 Les coefficients d'équivalence des matériaux du corps de chaussée.....	P 54
Tableau IV.8 Les épaisseurs équivalentes	P 55
Tableau IV.9 Les épaisseurs de renforcement	P 56
Tableau IV.10 Les épaisseurs des couches de renforcement	P 57

LISTE DES FIGURES

Figure I .1 : Photo satellitaire de l'aérodrome.....	P 01
Figure I .2: Piste d'aérodrome in Salah.....	P 02
Figure I .3 : Structure chaussée souple.....	P 04
Figure I.4 : Structure chaussée rigide.....	P 04
Figure I.5 : Caractéristiques géométriques d'un Boeing 737-800	P 05
Figure II.1 : Exemple d'une fissure transversale	P 08
Figure II.2 : Exemple d'une fissure longitudinale	P 09
Figure II.3 : Exemple d'un faïençage	P 09
Figure II.4 : Exemple d'une pelade	P 10
Figure II.5 : Exemple d'un nid de poule	P 10
Figure II.6 : Exemple d'un plumage	P 11
Figure II.7 : Exemple d'une flache	P 11
Figure II.8 : Exemple et illustration de l'affaissement... ..	P 12
Figure II.9 : Illustration de la déformation en W	P 12
Figure II.10 : Exemple d'un bourrelet	P 13
Figure II.11 : Exemple d'une ornière.....	P 13
Figure II.12 : Exemple d'un poinçonnement	P 14
Figure II.13 : Exemple d'une contamination	P 14
Figure II.14 : Exemple d'une remontée d'eau	P 15
Figure II.15 : Exemple d'une fissure	P 16
Figure II.16 : Exemple d'une cassure	P 16
Figure II.17 : Exemple d'un pompage	P 17
Figure II.18 : Exemple d'un décalage.....	P 17

Figure II.19 : Exemple d'une épaufrure.....	P 18
Figure II.20 : Exemple d'un écaillage	P 18
Figure II.21 Exemple d'une éjection du joint	P 19
Figure II.22 Exemple d'un glaçage.....	P 19
Figure II.23 Exemple d'une remontée de mortier.....	P 19
Figure II.24 Exemple d'un soulèvement des dalles	P 20
Figure III.1 :Les dégradations au niveau de la piste 05/23	P 21
Figure III.2 : Illustration de la subdivision de la piste.....	P 22
Figure III.3 :Photo satellite des positions des puits.....	P 26
Figure III.4 :Illustration de RSP 5051	P 27
Figure III.5 :Schéma du principe de l'essai de l'UNI.....	P 28
Figure III.6 :Illustration des positions des profils.....	P 29
Figure III.7 : Illustration de HWD modèle 8082-86.....	P 31
Figure III.8 :Schéma du principe de l'essai HWD	P 32
Figure III.9 :Photo satellite des profils réalisés	P 33
FigureIV.1 Illustration d'une structure de chaussée souple	P 43
FigureIV.2 Illustration d'une structure de chaussée rigide	P 43
FigureIV.3 Pondération de la charge réelle, en fonction des aires d'un aérodrome	P 45
FigureIV.4 Abaque de dimensionnement caractérisant le B737-800.....	P 46
Figure IV.5 Processus de calcul de l'ACN d'un aéronef... ..	P 48
Figure IV.6 Abaques des coefficients de correction du PCN.....	P 50
Figure IV.7 Modélisation du corps de chaussée sous ELMOD 6... ..	P 52
Figure IV.8 Illustration du renforcement de la Piste + Bretelles.....	P 57
Figure IV.9 Illustration du renforcement de parking	P 58

Figure IV.10 Illustration du renforcement de l'accotement.....	P 59
Figure IV.11 Illustration d'une nappe de Géogrille.....	P 59
Figure IV.12 Profile en travers type pour la piste 05/23	P 61
Figure IV.13 Profile en travers type pour les deux bretelles.....	P 62
Figure IV.14 Profile en travers type pour le parking	P 63
Figure IV.15 Exemple d'un profil en long modélisé par logiciel PISTE.....	P 64

LISTE DES ABREVIATIONS

ACN: Aircraft Classification Number ;
APD : Avant-projet détaillé ;
APL : Analyseur du Profil en Long ;
APS : Avant-projet sommaire ;
B737-800 : Boeing 737-800 ;
BB : Béton bitumineux ;
CBR: Californian Bering Ratio ;
Cm : Centimètre ;
ELMOD: Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design;
GB : Grave bitume ;
GC : Grave concassé ;
HWD: Heavy Weight Déflectomètre;
IRI : Indice de Rugosité International ;
ITAC : Instruction Technique sur les Aérodomes Civils ;
K : Modules de réaction.
KG: Kilos-gramme ;
KN: Kilos-Newton ;
M : Mètre ;
MBB : Micro béton bitumineux ;
MPa : Méga Pascal ;
OACI : Organisation de l'Aviation Civile International ;
PCN: Pavement Classification Number ;
PK : Point kilométrique ;
Pmax : Pente maximale ;
Pmoy : Pente moyenne ;
RSE : Roue simple équivalente ;
RSI : Roue simple isolé ;
S.I.G : Système d'information géographique ;
S.W.Y, (P O R) : Prolongement d'arrêt (Aire de sécurité);
SAETI : Société Algérienne d'étude et d'infrastructures ;
STBA : Service technique des bases aériennes ;
UNI : Caractéristique de l'état de surface (planéité) d'une chaussée.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'Algérie est considérée comme l'un des plus grands pays en termes de superficie, avec 2381741 km², une extension de 1900 km du nord au sud et 1800 km d'est en ouest.

Cette étendue a provoqué des irrégularités dans la répartition démographique pénurie de réseaux de transport ainsi qu'elle a entravé le développement, en particulier dans les régions du sud.

Le développement du sud est l'une des priorités qui préoccupe le gouvernement algérien dans le but d'améliorer le niveau de vie, Parmi les solutions adoptées par le gouvernement figure la création d'infrastructures routières et aéronautiques, ces derniers sont un facteur clé de succès pour le développement économique et social.

La wilaya d'In Salah est l'une des régions qui souffrent d'isolement et de problèmes liés aux infrastructures de transport, et c'est pour ça un aéroport national a été construit, dont le but est de pallier aux manques constatés dans cette région.

Le développement et la modernisation de ces installations sont nécessaires au fil du temps car le trafic aérien et les avions sont en constante évolution, ainsi que le vieillissement des ses infrastructures, l'aérodrome d'IN SALAH n'a pas échappé à cette règle, et présente des dégradations et un état de fatigue apparent.

La décision de mettre à jour cette infrastructure nous a donné l'opportunité de participer à travers le projet de fin d'études.

Sous le titre : Etude de renforcement de l'aérodrome d'IN SALAH qui nous a été proposé par la S.A.E.T.I (Société Algérienne d'Etude et d'Infrastructures) , Pour trouver des solutions innovantes et économiques pour lutter contre la fatigue et l'usure qui surviennent au niveau des pistes d'aéroport en raison du trafic , et d'offrir un niveau de service et de sécurité répondant aux normes de l'Organisation de l'Aviation Civil International (OACI).

Présentation :

L'aérodrome de IN SALAH est situé à la wilaya de IN SALAH, 7km au nord-est de la ville e IN SALAH, 1257 km au sud de la capitale d'Alger, l'aérodrome est constitué d'une piste orientée 05/23 de 3000 m longueur et de 45 m de largeur, deux bretelles, un parking ainsi qu'une aérogare.

L'aérodrome civil d'In-Salah a été ouvert à la circulation aérienne en 1956 et était utilisé à des fins militaires.

Dans les années 70, les pouvoirs publics ont décidé la construction d'aéroports afin de favoriser les liaisons aériennes notamment en direction du grand sud, raison pour laquelle l'aéroport d'In-Salah a fait l'objet en 1972 d'un projet de réaménagement et de renforcement des infrastructures existantes.

Sa mise en service a été réalisée au mois de juin 2007, après 28 mois de travaux, un temps record dans la conception d'aéroports en Algérie.

La nouvelle aérogare de l'aéroport d'In-Salah, qui a été réceptionnée en janvier 2007, occupe une surface de 1700 m² et traite le trafic national.



Figure I.1 Photo satellitaire de l'aérodrome

Informations de l'aérodrome :

- Nom de l'aérodrome : Aérodrome d'In Salah.
- Adresse : Wilaya d'In Salah.
- Code : INZ.
- Type d'aéroport : Public (nationale).
- Code OACI : DAUI.
- Altitude : 273m.
- Classe: A (selon la classification de l'Organisation de l'Aviation Civile).
- Situation géographique : L'aérodrome est situé à 7 Kms au nord-est de la ville D'In-Salah.
- Piste principale : 05/23.
- Nature : souple.
- 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 (2019) : 1381aéronefs (selon l'Etablissement National de la Navigation Aérienne) .

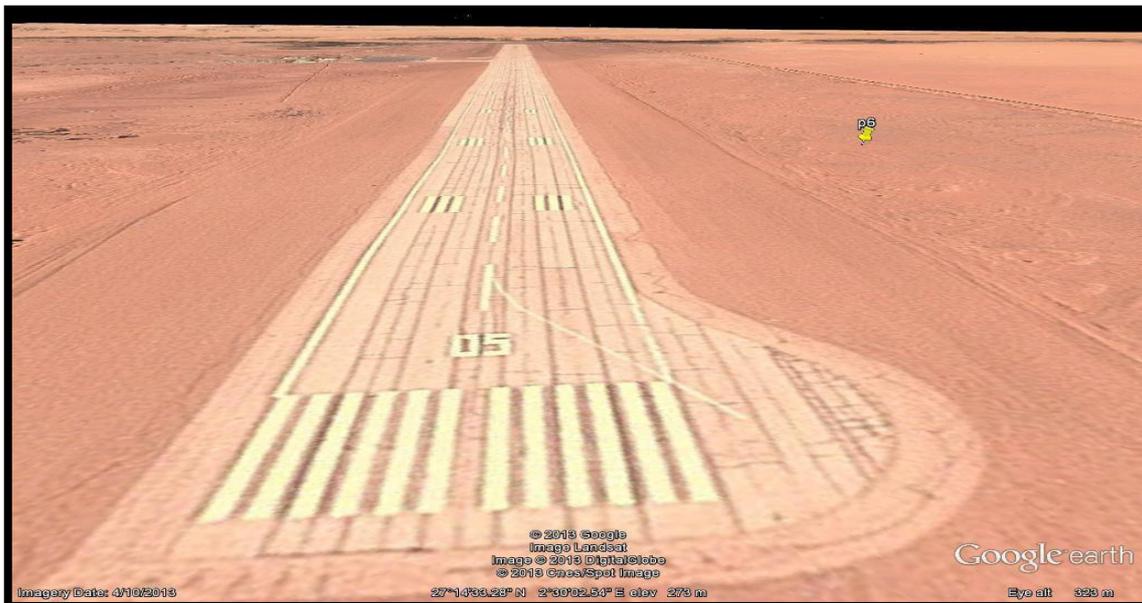


Figure I .2 Piste d'aérodrome in Salah

Définitions:**Aérodrome :**

Surface définie sur terre ou sur l'eau (comprenant, éventuellement, bâtiments, installations et matériel), destinée à être utilisée, en totalité ou en partie, pour l'arrivée, le départ et les évolutions des aéronefs à la surface.

Aéroport :

Est un aérodrome, ou partie d'aérodrome utilisé pour des transports commerciaux et qui comporte les installations nécessaires à cet effet.

Aire de mouvement :

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.

Destination des aérodromes :

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

- Les aérodromes civils
- Les aérodromes militaires
- Les aérodromes techniques

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

Les chaussées aéronautiques :

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

❖ Différents types de chaussées :

On distingue principalement deux types de chaussées:

Les chaussées souples et les chaussées rigides, par le jeu des renforcements successifs, d'autres cas complexes se présentent (couches bitumineuses sur dalles en béton, superposition de dalles de béton) mais dans le cadre de ce document, ils ne seront pas abordés.

a) Chaussées souples :

On appelle chaussées souples (figure I.3), les chaussées 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.



Figure I.3 structure chaussée souple

b) Chaussées rigides :

On appelle chaussées rigides, des chaussées comportant en couche supérieure des matériaux traités au liant hydraulique (béton de ciment essentiellement).

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.

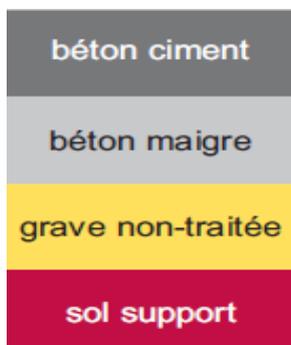


Figure I.4 structure chaussée rigide

Les Aéronefs :

La définition donnée par la loi N° 98-06 du 27 juin 1998 fixant les règles générales relatives à l'aviation civile (JORA N 48 du 28/06/1998) est la suivante : « Tout appareil qui peut s'élever, se soutenir et circuler dans l'atmosphère grâce à des réactions de l'air autres que les réactions de l'air à la surface de la terre » ; lors du vol d'un avion différentes forces s'exercent sur ce dernier, on peut citer ; La poussée, la trainée, le poids et la portance ; le mouvement de l'avion résulte de la combinaison de toutes ces forces.

Le marché de l'aviation civile est dominé par deux grands constructeurs : Boeing et Airbus, ces deux entreprises sont les seules à posséder les connaissances et les ressources financières nécessaires pour le développement complet d'un avion.

Dans le cadre de notre travail, on se limitera à donner uniquement quelques précisions sur l'avion le plus contraignant vis-à-vis de la piste 05/23 de l'aérodrome de In Salah qui est le Boeing 737-800, dont voici quelques caractéristiques :

❖ Fiche technique du Boeing 737-800 :

- Nombre de sièges : 186 (classe unique) ;
- Vitesse de croisière : 925 km /h ;
- Nombre de moteurs : 2 (CFM 56-7B27) ;
- Rayon d'action : 5400 km ;
- Longueur : 39,50 m ;
- Hauteur : 12,50 m ;
- Envergure : 34,40 m ;
- Surface alaire : 124,60 m² ;
- Poids maximal au décollage: 79 tonnes ;
- Premier vol : 31 juillet 1997



Figure I.5 Caractéristiques géométriques d'un Boeing 737-800.

Les Aérobares :

Les aérobares sont des maillons essentiels de l'ensemble des infrastructures d'un aéroport: ce sont les ouvrages où les gens, et les marchandises changent de mode de déplacement, en étant transférés d'un mode de transport terrestre vers un autre, aérien, et réciproquement. C'est donc le lieu du processus administratif et technique qui rend possible ce transfert (vente de billets, enregistrement des passagers et de leurs bagages, chargement déchargement du fret, contrôles réglementaires de police, douane et sûreté).

La Tour de contrôle et la Vigie :

La tour de contrôle est, ne serait-ce que par sa hauteur, le bâtiment le plus caractéristique sur un aéroport. Elle est facilement reconnaissable, même intégrée à un bloc technique ou à l'aérogare. La structure et la fonction de ce bâtiment lui confèrent une image de « sceptre » de l'aéroport.

La vigie représente l'entité qui régit tous les mouvements aériens, (atterrissages, approches, survol des espaces aériens,...etc), et ceux ayant lieu au sol (décollages, circulation au sol des aéronefs,...etc), en somme toute l'activité de l'aéroport, elle est à la fois un « centre névralgique » et « l'œil » de l'aéroport.

La présence de la tour de contrôle a aussi une fonction symbolique : elle rassure l'utilisateur qui a devant ses yeux le lien entre l'avion et le sol, son image est également représentative du progrès technique qui a permis la conquête du ciel.

Introduction :

Les chaussées aéronautiques constituent une part importante des infrastructures opérationnelle d'un aéroport, sont classiquement conçues avec des matériaux bitumineux (chaussées souples avec une durée de vie moyenne de 10 ans) ou rigides (durée de vie moyenne de 20 ans).

Les chaussées aéronautiques sont exposées à des dégradations structurelles et fonctionnelles avec le temps pouvant conduire à la ruine totale de l'infrastructure. Donc le suivi régulier est obligatoire pour préserver et utiliser au mieux possible les chaussées de l'aéroport, le diagnostic de causes des dégradations se fait à travers une série de mesures et d'observations visuelles afin de trouver des solutions pour réparer ces chaussées, le relevé visuel est basé sur le catalogue de service technique des bases aériennes « STBA ».

Généralités sur les dégradations des chaussées aéronautiques

L'action répétée des charges produites par le mouvement intensif des avions et les contraintes d'origine thermique sont les causes principales de dégradations des chaussées, Cette usure apparaît souvent sous forme de déformations et fissurations qu'on peut observer sur la surface des chaussées.

Le traitement des désordres est une opération d'entretien très courante dans le but d'améliorer l'étanchéité et l'état de surface (uni, adhérence,..) de la chaussée, et d'apporter des solutions aux différents désordres.

Définitions et types des dégradations :

Les dégradations sont les différents désordres, que peut manifester une chaussée après un certain temps de sa mise en service, ces désordres peuvent prendre naissance dans la couche de roulement ou dans les couches inférieures de la structure.

On distingue deux types principaux des déformations selon la nature de la chaussée qui sont : souples et rigides chaque un est divisé en plusieurs types.

a) Cas des chaussées souples :

On peut distinguer quatre familles principales :

- Famille des fissures.
- Famille des arrachements.
- Famille des déformations.
- Autres dégradations.

1. Les fissures :

❖ Fissure transversale

Définition: Ce sont des cassures sensiblement perpendiculaires à l'axe de la chaussée, isolées ou périodiques, d'espacement variable, intéressant tout ou partie de la largeur de la chaussée.

Causes probables:

- Un défaut de mise en œuvre de la couche de roulement;
- Le vieillissement du liant ou une sensibilité du bitume aux variations thermiques;
- La fatigue avancée de la chaussée due à la répétition des efforts ou un sous-dimensionnement d'une ou de plusieurs couches;
- La diminution de portance du sol support.



Figure II.1 Exemple d'une fissure transversale.

❖ Fissure longitudinale

Définition: C'est une famille de dégradations de surface caractérisée par une ligne de rupture apparaissant à la surface de la chaussée sensiblement parallèle à l'axe.

Causes probables:

- Mauvaise construction du joint longitudinal entre deux bandes d'enrobés;
- Mouvement différentiel dans le cas d'élargissement de la chaussée;
- Fatigue de la chaussée due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic ou une portance, du sol support insuffisante;
- Les caractéristiques du sol: tassement, retrait du sol argileux à la suite d'une longue période de sécheresse (Assèchement).



Figure II.2 Exemple d'une fissure longitudinale.

❖ Faïençage

Définition: Les faïençages sont des fissurations à maille plus ou moins fines, se produisant sur les couches de surface.

Causes probables:

- Couche de roulement rigide sur une couche de base très déformable;
- Mauvais accrochage de la couche de surface à la couche de base;
- Vieillesse prématuré du liant.



Figure II.3 Exemple d'un faïençage.

2. Les arrachements :

Ces désordres n'affectent que la couche de roulement on distingue :

❖ Pelade

Définition: C'est un décollement de la couche de surface par plaque plus au moins grande.

Causes probables:

- Mauvaise adhésion entre la couche de surface et la couche de base;
- Compacité insuffisante de la couche de roulement.



Figure II.4 Exemple d'une pelade.

❖ Nid de poule

Définition: C'est une cavité généralement de forme arrondie créée par enlèvement des matériaux de chaussée.

Causes probables:

- Mauvais drainage ou drainage inexistant;
- Pollution du corps de chaussée;
- Stade final de l'évolution des faïençages;
- Arrachement des matériaux sous l'effet mécanique.



Figure II.5 Exemple d'un nid de poule.

❖ Plumage

Définition: le plumage est l'arrachement progressif des gravillons du revêtement, rendant la chaussée plus glissante et plus perméable.

Causes probables:

- Mauvaise adhésion granulats-liant;
- Granulats sales ou pollués;

- Sous dosage en liant;
- Mauvaise granulométrie.



Figure II.6 Exemple d'un plumage.

3. Les déformations

❖ Flache

Définition: C'est une dépression de forme arrondie d'un point faible du corps de chaussée.

Causes probables :

- Compactage localement insuffisant de la couche de base ou de la couche de surface;
- Pollution localisée du corps de chaussée;
- Présence d'eau dans la couche de base ou le sol support.



Figure II.7 Exemple d'une flache.

❖ Affaissement

Définition: C'est un tassement vertical de la chaussée au bord des accotements, ainsi que sur la chaussée.

Causes probables:

- Présence d'eau dans le corps de chaussée (mauvais drainage);

- Pollution du corps de chaussée;
- Corps de chaussée sous dimensionné.

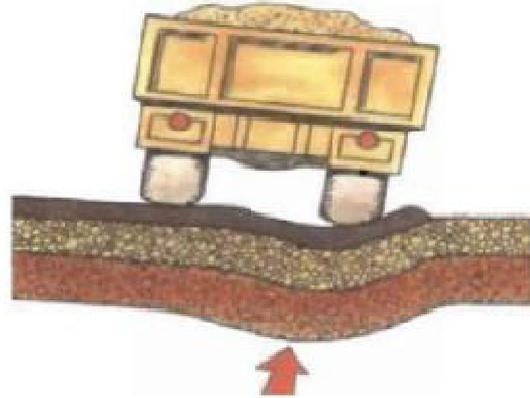


Figure II.8 Exemple et illustration de l'affaissement.

❖ Déformation en « W »:

Définition : Dépression longitudinale de grand rayon transversal, située de part et d'autre de l'axe de la voie de circulation dans le passage des atterrisseurs principaux des avions, et dont les largeurs varient entre 5 et 7m.

Causes possibles :

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

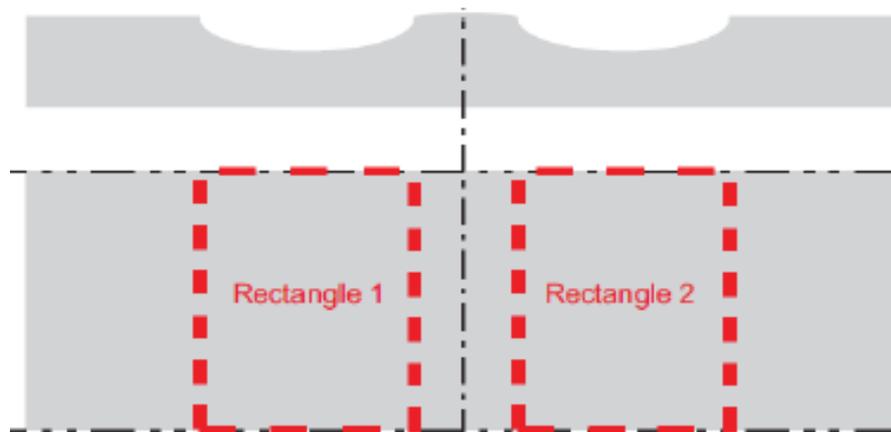


Figure II.9 Illustration de la déformation en W.

❖ Bourrelet

Définition: C'est un renflement plus au moins accentué apparaissant à la surface de la chaussée.

Causes probables:

- Fluage des enrobés sous des efforts tangentiels
- Importants (freinage ou chocs des avions) ;

- Dilatation thermique des couches sous-jacentes;
- Gélivité ou propriétés gonflantes du sol support ;
- Effets thermiques sur des couches de surface aux raccords de structures de natures différentes.



Figure II.10 Exemple d'un bourrelet.

❖ Ornière :

Définition : Est une déformation permanente longitudinale de la chaussée caractérisée par un tassement de celle-ci qui se crée sous le passage répété des roues.

Causes probables:

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

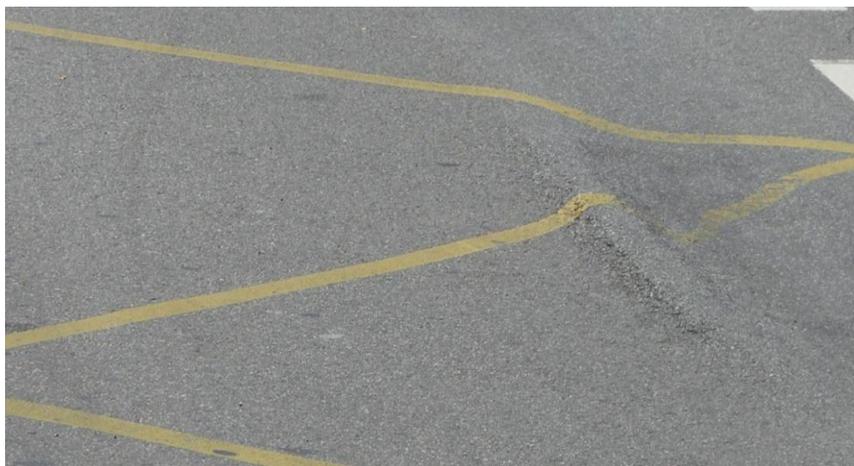


Figure II.11 Exemple d'une ornière.

4. autres dégradations :

❖ Poinçonnement/empreinte :

Définition: enfoncement localisé du revêtement. Ce défaut s'observe généralement dans les aires de stationnements.

Causes probables :

- Surcharge statique exercée par des aéronefs en stationnement.
- Ramollissement de l'enrobé au droit des zones contaminées.



Figure II.12 Exemple d'un poinçonnement .

❖ Contamination/souillure :

Définition : pénétration dans l'enrobé de produits chimiques (hydrocarbures, huiles...).

Causes probables :

- Produits déglacant;
- Pertes de kérosène lors de l'avitaillement, fuites d'huile;
- Produits chimiques divers.



Figure II.13 Exemple d'une contamination.

❖ Remontée d'eau :

Définition : zone humide à la surface du revêtement.

Causes probables :

- Défaut d'interface propice à la circulation de l'eau;
- Venue d'eau sous le corps de chaussée consécutive à une étanchéité insuffisante ;
- Mauvais drainage du corps de chaussée.



Figure II.14 Exemple d'une remontée d'eau.

b) Cas des chaussées rigide

On distingue 3 familles principales :

- Dégradations de structure.
- Dégradations de surface.
- Autres Dégradations.

1. Dégradations de structure :**❖ Fissure:**

Définition : Rupture superficielle de dalle en deux morceaux.

Causes probables :

- Faible résistance et insuffisante du béton à la traction ;
- Retrait thermique du béton en cas de sciage Tardif;
- Mauvais appuis de la dalle.



Figure II.15 Exemple d'une fissure.

❖ **Cassure ou fissure d'angle:**

Définition : Cassure de dalle rejoignant deux cotés adjacents et située à plus de 50 cm du coin de dalle.

Causes probables

- Retrait thermique du béton en cas de sciage tardif;
- Fatigue de la structure;
- Mauvais appuis de la dalle.



Figure II.16 Exemple d'une cassure.

❖ **Pompage :**

Définition : des cavités sous les dalles, se remplit d'eau ou de boue.

Causes probables :

- Pénétration de l'eau dans le corps de chaussée;
- Dégradation des conditions d'appui de la dalle en présence d'eau;
- Manque de cohésion et sensibilité à l'eau du support.



Figure II.17 Exemple d'un pompage.

❖ **Décalage :**

Définition : dénivellation vertical entre les deux lèvres d'un joint de dalle.

Cause probables :

- Tassement ou gonflement localisé;
- Mouvements de matériaux sous les deux bords du joint dus à un phénomène de pompage.



Figure II.18 Exemple d'un décalage.

2. Dégradations de surface:

❖ **Épaufrure:**

Définition : effritement du bord de la dalle au niveau du joint.

Causes probables :

- Joints bloqués empêchant la dilatation thermique créant une compression au niveau des bords de dalle;
- Sciage précoce, "talonnage" du disque de sciage;

- Résistance à la compression du béton insuffisante.

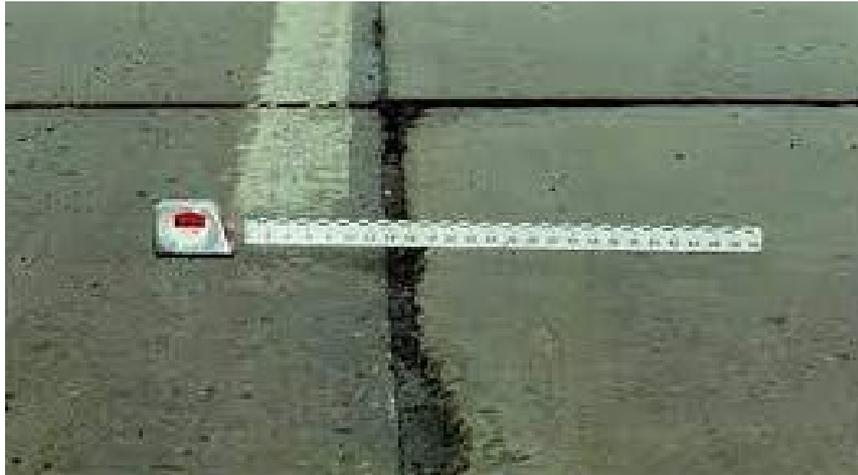


Figure II.19 Exemple d'une épaufrure.

❖ **Écaillage :**

Définition : Désintégration superficielle localisée de la surface du béton.

Causes probables :

- Compression d'un point dur dans le joint ;
- Chocs mécaniques;
- Chocs thermiques sur pistes aéronautiques.



Figure II.20 Exemple d'un écaillage.

3. Autres dégradations:

❖ **Éjection du joint :**

Matériau éjecté du joint de dilatation.



Figure II.21 Exemple d'une éjection du joint

❖ **Glaçage :**

Usure de la surface de la chaussée qui la rend lisse et glissante.



Figure II.22 Exemple d'un glaçage.

❖ **Remontée de mortier :**

Séparation du mortier et des granulats qui descendent vers la partie basse de la chaussée.



Figure II.23 Exemple d'une remontée de mortier.

❖ Soulèvement des dalles :

Dénivellation transversale importante au niveau des joints.



Figure II.24 Exemple d'un soulèvement des dalles.

II.1. Facteurs influent sur les dégradations :

On peut distinguer quelques facteurs essentiels :

- Le trafic ;
- La nature du sol;
- Les conditions climatiques;
- La qualité des matériaux et leur mise en œuvre;
- Les variations thermiques ;
- Le dimensionnement du corps de chaussée ;
- Fin de la durée de vie de chaussée.

Introduction :

L'étude géotechnique en génie civil est l'étape qui vient avant la conception et la réalisation d'ouvrages, et cela inclut les infrastructures aéroportuaires, l'objectif de cette étude est de définir les caractéristiques physiques et mécaniques de sol.

Pour cela on doit procéder à l'exécution d'une étude complète sur le sol traversé ainsi les matériaux utilisés afin de bien définir ces caractéristiques.

Nous avons utilisé dans ce travail le rapport géotechnique élaboré par le laboratoire des travaux publics de sud (LTPS) pour le compte de la (SAETI).

L'étude géotechnique comporte des essais institue au laboratoire, une auscultation visuelle, réalisation des sondages carottés sur les chaussées existantes, creusement des puits et prélèvements d'échantillons en vue d'identifier le sol support, mesure de la portance, contrôle de l'UNI longitudinale et transversal.

But de l'étude géotechnique :

Son but est d'avoir une appréciation sur les caractéristiques physiques, mécaniques, et éventuellement chimiques du sol support, supposé recevoir notre ouvrage.

La reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensables, car elle permet :

- En phase d'étude : Utiliser ces informations afin de bien définir le projet (bon dimensionnement du corps de chaussée et choix des matériaux).
- En phase d'exécution : Réaliser les travaux avec un bon choix des procédés à utiliser, des moyens et des matériaux adaptés à la nature des sols et avec un minimum de risques possibles.

Auscultation visuelle de la chaussée :

L'inspection visuelle de la piste d'atterrissage de l'aérodrome de In-Salah a été effectuée sur les trente mètres centraux de la piste, où la piste a été divisée en mailles de relevé de (20X30) mètres, le parking et la bretelle ont été aussi auscultés.

Ce relevé de dégradations montre que la surface de la piste ainsi que de ses annexes sont infectées généralement par :

- 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 ;
- Fissures longitudinales et transversales généralisées au milieu des bandes d'épandage, dont le degré de gravité est variable entre le léger et le grave ;
- Gonflement localisé au niveau des bandes de rives accompagné par des fissures de grandes ampleurs ;
- Défauts d'uni au niveau des bandes latérales et les bandes de rive ;



Figure III.1 Les dégradations au niveau du la piste 05/23

Campagne de reconnaissance géotechnique :

Essais In Situ :

a) Campagne de carottage :

Le carottage est une technique de prélèvement d'échantillons qui consiste à forer un substrat à l'aide d'une carottier pour obtenir un cylindre de matière qui s'appelle carotte.

L'analyse de la stratification de ce cylindre permet alors de reconstituer la nature d'un sol (Nature des couches, Épaisseurs, État...).

Cette opération doit être réalisée dans des endroits bien distincts de façon à obtenir des résultats représentatifs.

➤ La procédure dans notre cas :

La piste a été subdivisée en 07 bandes d'épandages :

- 01 bande axiale (Centrale) (B4).
- 04 bandes latérales (B2, B3, B5, B6).
- 02 bandes de rive (B1, B7).

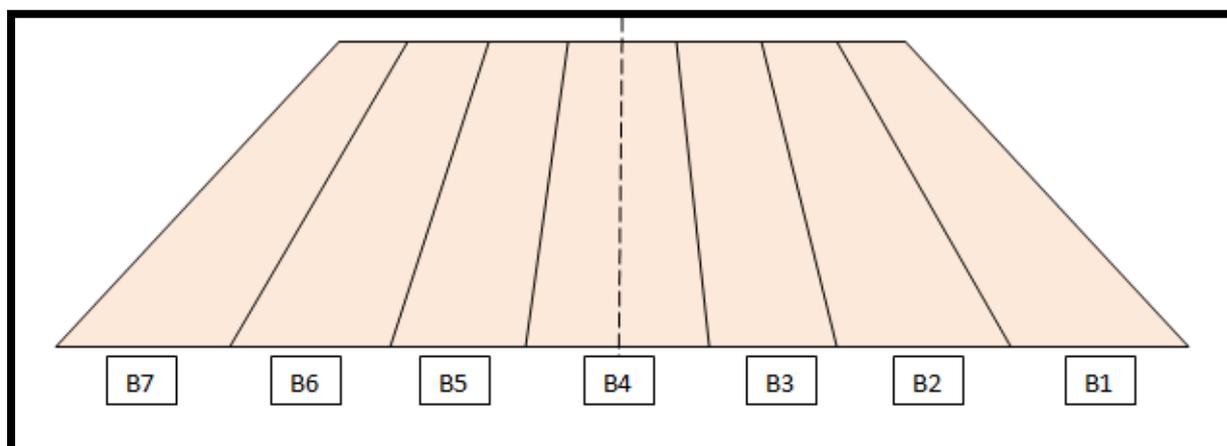


Figure III.2 Subdivision de la piste en bandes d'épandages.

11 sondages ont été réalisés dans cette campagne (10 sur la Piste et 01 sur le Parking), les résultats sont dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : Résultats des sondages carottés.

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	
0+700	(B2) sur un joint transversal colmaté	08.00	23.0	Bon	
0+900	(B3) sur une fissure longitudinale	8.00	22.00	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	

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	
Parking	Sur une zone intacte	32		Bon	

❖ Interprétation des résultats :

- 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 chaussée.

GB : Grave Bitumineuse.

BB : Béton Bitumineux.

b) Campagne de creusement des puits :

➤ P1 position : (N 27° 15' 31.8'' E 002° 31' 27.7'')

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



➤ P2 position (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 position (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 .



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

- 0.00 – 0.80 m : limon sableux brunâtre à marron humide.
- 1.30 – 3.00m : argile violacée humide.



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

- 0.00 – 0.20 m : sable grossier jaunâtre.
- 0.20 – 3.00m : argile violacée sec .



➤ **P6** position (N 27° 14' 35.0'' E 002° 30' 11.8'')

- 0 – 0.30 m : sable grossier jaunâtre.
 - 0.30 – 1.40 m : 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 .



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

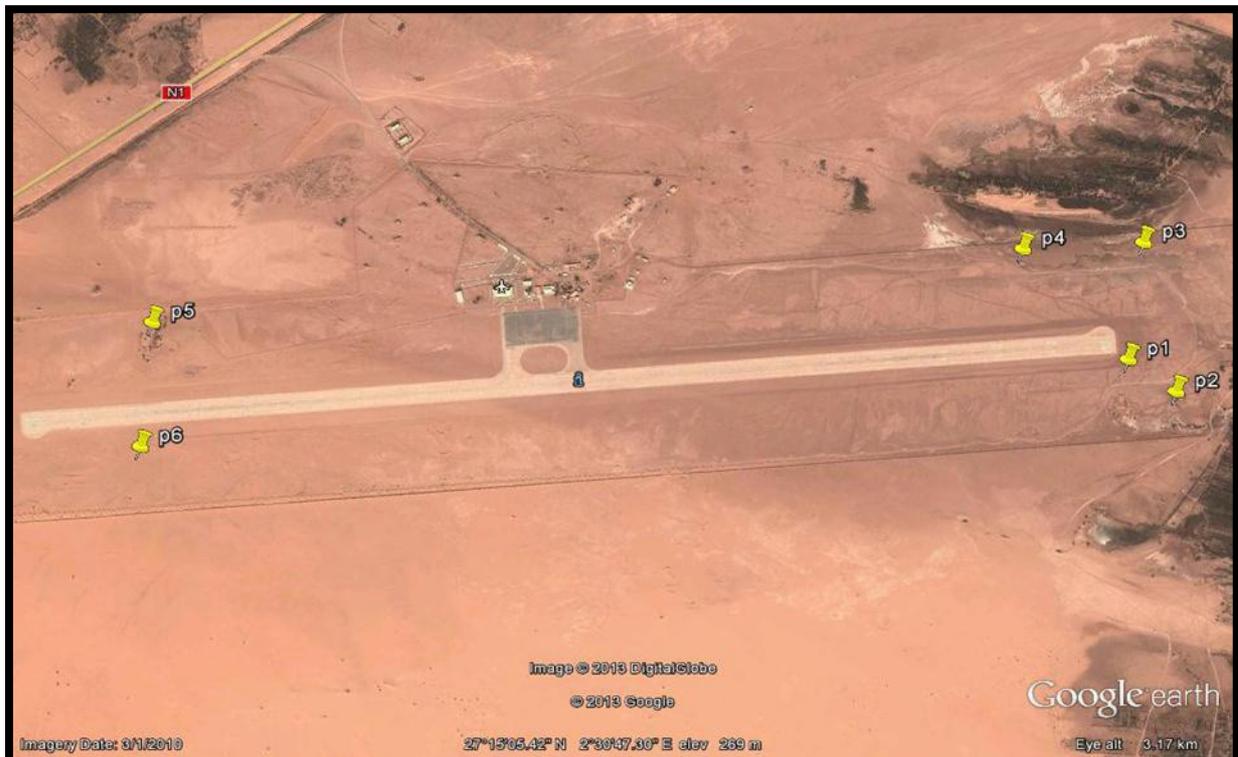


Figure III.3 Photo satellite du les positions des puits

❖ **Interprétation des résultats :**

A l'issue de cette campagne de creusement des puits nous pouvons déduire que le terrain support de la piste 05/23 est formé dans son côté Nord-est d'une couche de sable grossier jaunâtre, humide, moyennement épaisse environ 70cm reposant sur une couche d'argile verdâtre à violacé humide, et 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 qui est réalisé dans un endroit bas par rapport à la piste , on a remarqué que la couche d'argile est sèche et dure .

La couche de sable, avec sa perméabilité élevée, joue le rôle d'une collecteur d'eau hydratant le sous-sol de la piste.

Ces sondages en puits combinés aux autres essais qui vont être réalisés en laboratoire sur les échantillons prélevés de ce sol.

c) Vérification de l'état de surface avec l'essai de L'UNI :

L'UNI d'une chaussée est un critère de qualité géométrique, il caractérise l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée et donne une appréciation de l'état de planéité de cette dernière.

❖ **Matériel utilisé :**

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 .



Figure III.4 Illustration de RSP 5051

❖ Principe de l'essai :

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 :

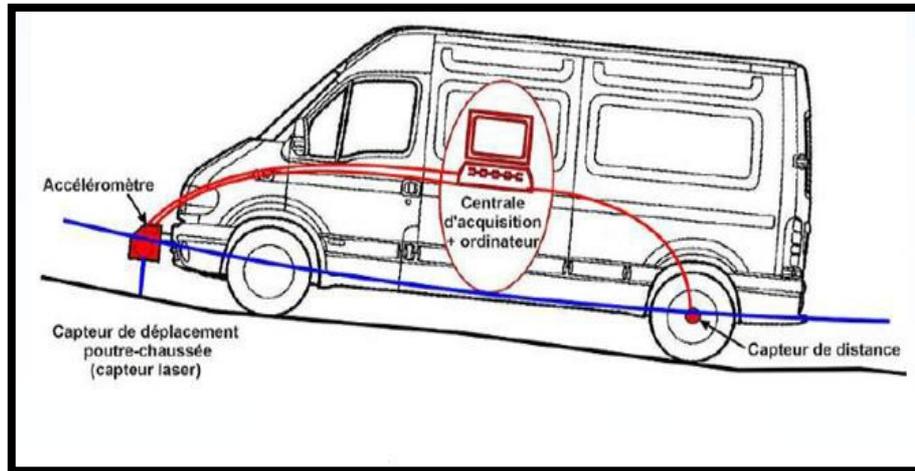


Figure III.5 Schéma du principe de l'essai de l'UNI

Les données obtenues sont enregistrées sous forme de profils en long, l'indice de planéité ou de confort ou roulement IRI « International Roughness Index » 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.

❖ Implantation des profils et plan d'intervention :

Dans notre projet 07 profils de mesure ont été réalisés sur la piste 05/23 de l'aérodrome d'IN-SALAH. Les profils sont implantés de manière à recouvrir les endroits les plus sollicités de la piste, l'origine de toutes les mesures de l'uni est le seuil 05.

Le tableau suivant présente les positions des profils réalisés :

Tableau III.2 : les positions des profils réalisés

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
Nb profil	01	02	02	02

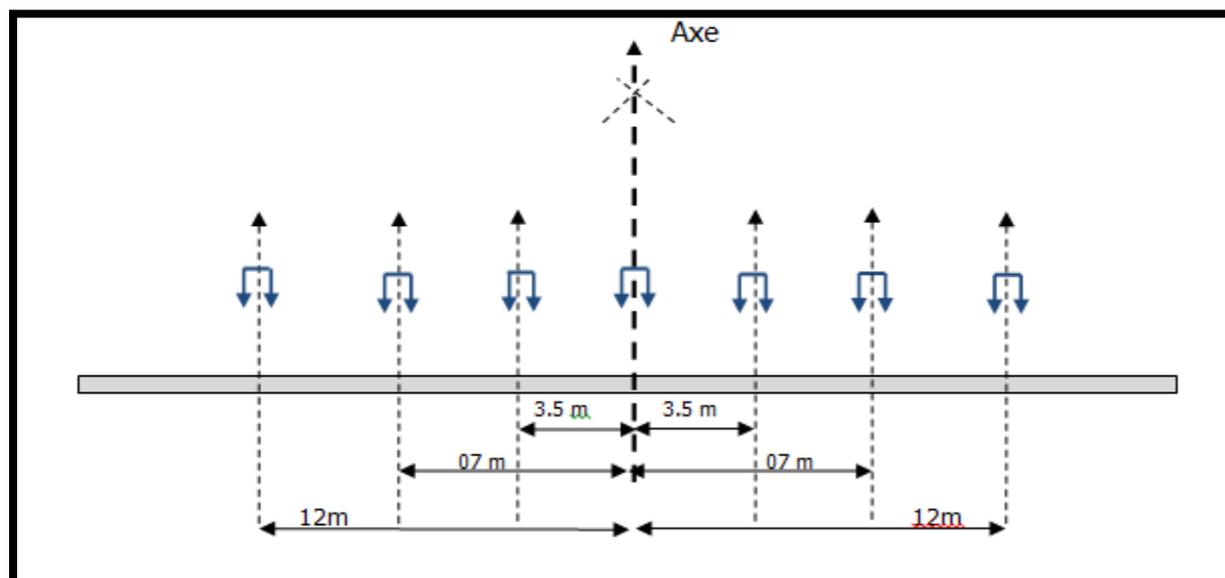


Figure III.6 Illustration des positions des profils

❖ Résultats des mesures :

Les tableaux suivants donnent les valeurs moyennes d'IRI pour chaque profil, et pour les trois sections de la piste :

Tableau III.3 : Résultats des Valeurs Moyennes de l'IRI pour la Piste 05/23.

Profils	Piste d'atterrissage (05/23)							
	IRI (0.00 – 1.00 km)		IRI (1.00 – 2.00 km)		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

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:

Tableau III.4 : Résultats des valeurs de l'IRI Max et leurs Pourcentage (Piste 05/23).

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

❖ **Interprétation des Résultats :**

Selon ces résultats, on peut déduire que :

- 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.

d) Mesure de la portance :

❖ **L'évaluation de la portance a été faite à l'aide de l'appareil HWD :**

Le déflectomètre lourd HWD (Heavy Weight Deflectometer) est un appareil d'essai non-destructif pour les chaussées et aéroports. Il peut être utilisé pour mesurer la capacité portante

de la chaussée et les essais non-destructifs des matériaux liés rigides tels que les pistes d'aéroport et les parkings pour camions.

Pour la mesure des déflexions du corps de chaussée de la Piste 05/23, le déflectomètre lourd Dynatest HWD Modèle 8082-86 a été utilisé. Il est monté sur une remorque et se compose de trois systèmes principaux:

- Système de chargement.
- Système hydraulique.
- Système électronique d'acquisition des données situé dans le véhicule tracteur qui permet de contrôler l'exécution des essais et d'enregistrer les données sur support magnétique.



Figure III.7 Illustration de HWD modèle 8082-86

❖ Principe de l'essai :

Le principe de base consiste à simuler une charge roulante exerçant une force entre 30 et 280 KN, sous l'effet de cette charge la chaussée subit un affaissement ou une déflexion mesurable grâce à 09 capteurs en surface, c'est ce qui est appelé le bassin de déflexion (déflexion basin). Cette simulation peut être réalisée par le biais d'une masse (entre 200 et 700 kg) tombant d'une hauteur donnée (entre 100 et 400 mm) en heurtant un système d'amortissement en caoutchouc, cette chute génère une impulsion semi-sinusoïdale pendant une durée de 25 à 30 msec. En plus des mesures de déflexions, les températures à l'air, à la surface de la chaussée et à l'intérieur de la couche bitumineuse sont aussi enregistrées dans la base de données, pour être intégrées dans les calculs des paramètres de la structure étudiée (back calculation).

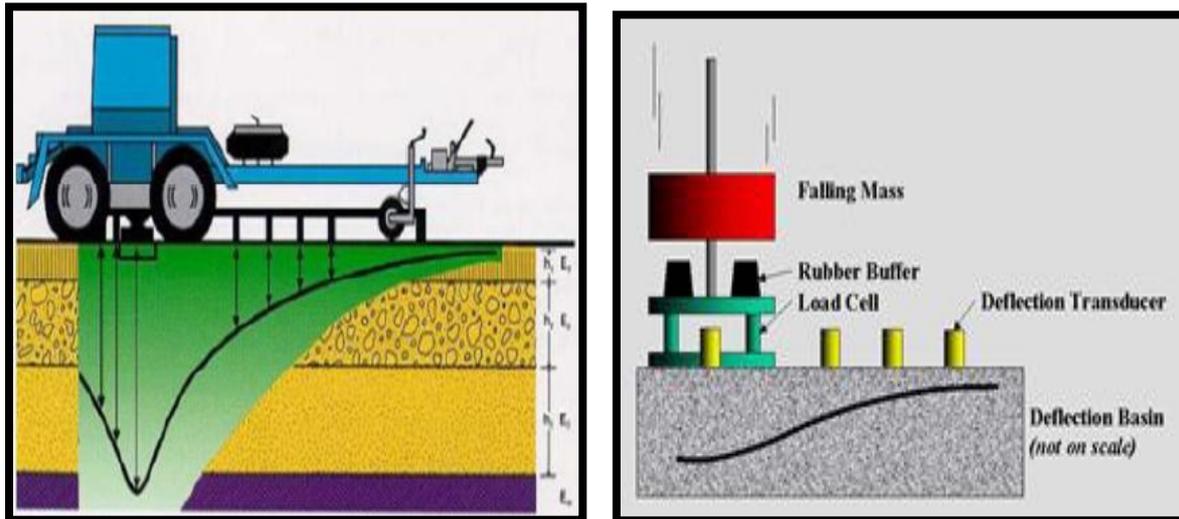


Figure III.8 Schéma du principe de l'essai HWD

❖ 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 478 soit $478 \times 2 = 956$ 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 :

Tableau III.5 : Les intervalles de mesure au niveau de chaque profil et le nombre des points de mesure relatifs

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
TOTAL		457 Points de mesure	
Park 01		30 ml	07 points
Park 02		30 ml	07 points
Park 03		30 ml	07 points
TOTAL		21 Points de mesure	

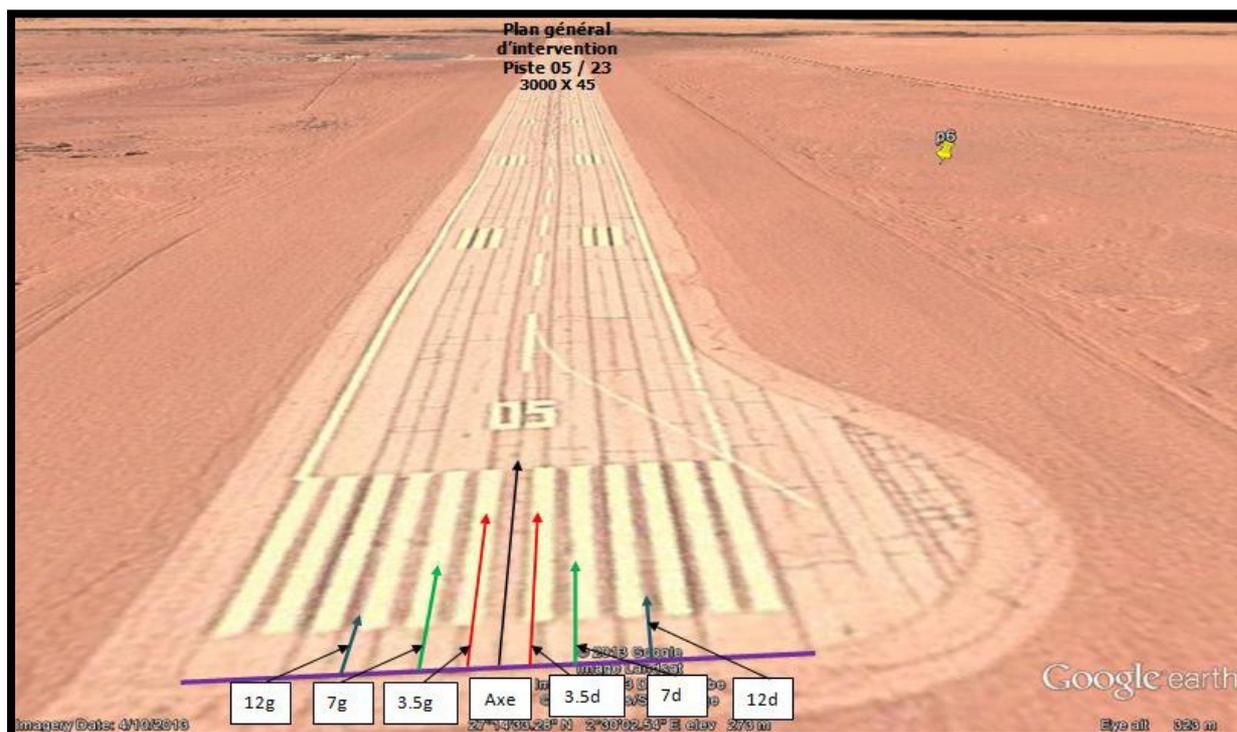


Figure III.9 Photo satellite des profils réalisés

❖ Déflections :

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.

Les déflexions enregistrées dans une base de données correspondent à 02 chutes successives du poids de 700 kg à une hauteur de 400 mm . La deuxième chute sera prise en considération lors des étapes d'analyse des données suivantes. Les déflexions enregistrées au niveau des sept profils, sont présentées sous forme de tableaux et de graphes ;

❖ Résultats des déflexions :

Les déflexions enregistrées au niveau des sept profils, sont présentées sous forme de tableaux, qui sont les suivants :

- **Profil piste 05/23 :**

Tableau III.6 : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK0+000 au PK 0+600.

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

Tableau N° III.7 : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK0+600 au PK 3+000.

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

- **Profil Parking :**

Tableau III.8 : Récapitulatif des déflexions enregistrées sur le Parking.

Profils	Nbre de points mesurés	Emplacement des géophones par rapport à la plaque (mm)								
		0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
		les déflexions moyennes en μm (microns)								
Park 01	07	1437	1097	914	720	573	370	254	176	136
Park 02	07	1167	856	713	560	449	293	204	143	109
Park 03	07	1040	770	662	546	461	328	236	173	135
Déflexion moyenne		1215	908	763	609	494	330	231	164	127

e) Modules à la surface E_0 :

Le module à la surface (surface modulus E_0) 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 E_0 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 de E_0 seulement. C'est pour cela que E_0 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.

❖ **Résultats des modules des surfaces E_0 :**

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

- **Profils piste 05/23:**

Tableau III.9 : Moyennes des Modules en surface du PK0+000 au PK0+600.

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

Tableau III.10 : Moyennes des Modules en surface du PK0+600 au PK3+000.

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

- **Profils parking :**

Tableau III.11 : Moyennes des Modules en surface des 03 profils du Parking.

Profils	Nbre 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)								
Park 01	07	477	158	126	120	100	116	136	163	169
Park 02	07	572	195	156	149	125	144	166	198	209
Park 03	07	664	225	174	158	124	131	146	167	171
Moyens		571	193	152	142	116	130	149	176	183

❖ **Interprétation des résultats :**

D'après les résultats des déflexions, qu'elles sont importantes pour le tronçon PK0+000 et PK0+600 sur les bandes centrales et de rives, et uniquement sur les bandes de rives pour le tronçon PK0+600 à PK3+000, ces déflexions sont encore plus importantes sur l'aire de trafic. Ceci s'explique par le fait est que, les avions sollicitent plus la piste sur son tronçon PK0+000 et PK0+600 ; Zone où l'avion reste le plus statique au décollage, et où les vitesses d'évolution des aéronefs sont faibles ; mais les sollicitations les plus importantes sont sur l'aire de trafic où les avions stationnent (statiques).

S'agissent des modules de surfaces, on déduit qu'ils sont inversement proportionnels aux déflexions, jugées moyennes pour l'ensemble de la piste et faibles pour les parkings.

Essais au laboratoire :

Des essais en laboratoire ont été réalisés sur des échantillons prélevés des puits creusés au niveau du terrain avoisinant la piste, à fin de déterminer les caractéristiques mécaniques de sol

a) Essais d'indentification :

1. Analyse granulométrique et sédimentométrique :

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.

2. Limites d'Atterberg :

Les limites d'ATTERBERG caractérisent le comportement des sols fins en présence d'eau, en pratique, on procède à l'aide de l'appareil de Casagrande pour obtenir :

- La limite de plasticité W_p : caractérisant le passage du sol de l'état solide à l'état plastique.
- La limite de liquidité W_l : caractérisant le passage du sol de l'état plastique à l'état liquide.
- L'indice de plasticité I_p : qui s'exprime en pourcentage, correspond à la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité. [$I_p = W_l - W_p$].
- L'indice de consistance I_c : s'exprime par le rapport suivant :

$$I_c = \frac{(W_l - W_p)}{(W_l - W_p)} = \frac{(W_l - W_p)}{I_p} \quad \dots\dots\dots(N^\circ 1)$$

3. Teneur en eau et Densité :

Des essais servent à classer mécaniquement le sol support et la couche de fondation, afin d'apprécier la densité et le compactage de ces derniers. Ceci intervient après détermination de la teneur en eau naturelle « $W_{in-situ}$ », de la densité sèche « γ_d », et la densité humide « γ_h ».

4. Analyse chimique sommaire :

Des essais d'analyse chimique ont été réalisés sur les échantillons prélevés Pour déterminer la composition chimique ainsi que le degré d'agressivité des eaux du site étudié.

b) Essais mécaniques :

1. Essai CBR « Californian Bearing Ratio » :

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. L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement, en les compactant dans des moules à la teneur en eau optimale (PROCTOR modifié) avec différentes énergies de compactage. L'essai CBR a été réalisé avec une énergie de compactage de 55 coups par couche pour chaque puits, le Résultat est que notre sol est de CBR = 05% (Sol Argileux).

c) Les résultats des essais en laboratoire :

Les résultats sont regroupés le tableau suivant :

Tableau III.12: Résultats des tous les essais au Laboratoire.

N° Puits	Analyse Granulométrique						Limite d'atterberg			Teneur en eau %	Densité g/cm ³		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 ₄ ⁻² (%)	CaCO ₃ (%)	
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

❖ Interprétation des résultats :

Ces résultats montrent que les échantillons prélevés du faciès argileux caractérisent une Argile très plastique, peu carbonaté, peu gypseux, ayant une teneur en eau naturelle W_{nat} variant entre 17% et 22%, avec un degré de saturation variant entre 81% et 93% et un taux de fines (<0.08 mm) dépassant les 80%, et possède un indice CBR moyen = 05 % (faible).

III.1. Conclusion :

D'après cette étude et les résultats obtenus, la classification de notre sol selon sa nature avec le guide technique de réalisation des remblais et des couches de forme (Fascicule II du LCPC) montre que le sol appartient à la classe A des sols fins dans les sous classe A2,A3, A4. Le sol rencontré est caractérisé par une perméabilité très réduite, ce qui permet de former un écran contre les eaux souterraines, mais n'assure pas un bon drainage des eaux de ruissèlement.

Le résultat du CBR du notre sol est de 05 % , c'est la valeur qu'on va utiliser dans la dimensionnement de nos infrastructures.

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.

Constitution des chaussées aéronautiques :

Les chaussées aéronautiques représentent l'ensemble des aires destinées à la circulation, manœuvre, et au stationnement des aéronefs. Ce sont des structures composites (assemblage de différents matériaux).

a) Chaussée souple :

On appelle chaussée souple, une chaussée comportant des couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés, reposant sur des couches de matériaux non traités ; la chaussée souple se caractérise par le fait que, toutes les couches qui la composent ne présentent pas une très grande résistance à la flexion, la diffusion vers le sol support des efforts générés par les aéronefs est essentiellement assurée par l'épaisseur du corps de chaussée.

❖ Constitution d'une chaussée souple**1. Couche de surface :**

Elle comporte généralement une structure bicouche avec :

- **Une couche de roulement :** Couche supérieure sur laquelle s'appliquent directement les actions du trafic et du climat.
- **Une couche de liaison :** Qui sert de couche d'imprégnation et d'accrochage entre la couche de roulement et celle de base.

2. Couche de base :

Assurer un rôle structurel en diffusant et diminuant les contraintes sur la couche de fondation et le sol support, elle constitue une bonne assise pour la couche de surface.

3. Couche de fondation :

Assure un support pour la couche de base et en particulier permet le bon compactage de cette dernière, elle participe aussi à la répartition des contraintes sur le sol support.

4. Couche de forme (éventuelle) :

La couche de forme constitue la liaison entre les terrassements proprement dits (sol support) et la chaussée, et répond à des buts très divers : réglage du niveau, circulation de chantier, protection du sous-sol contre les intempéries, anticontamination, amélioration et homogénéisation de la portance du support de la chaussée .



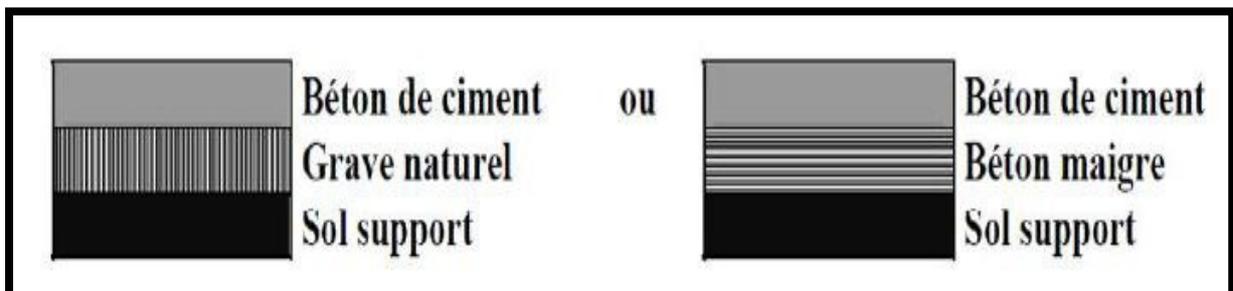
FigureIV.1 Illustration d'une structure de chaussée souple

b) Chaussées rigides :

On appelle chaussée rigide, une chaussée comportant des matériaux traités au liants hydraulique (Béton de ciment).

❖ Constitution d'une chaussée rigide :

Elle est constituée d'une couche de surface (dalle) qui est en béton hydraulique, et de ce fait lui confère une grande rigidité et résistance, elle joue à la fois le rôle de couche de base et de roulement. La dalle en béton repose sur une ou plusieurs couches de fondation, formées de matériaux traités (pour éviter le phénomène de pompage) dont le rôle est d'assurer à la dalle un support régulier et continu pour travailler de façon homogène.



FigureIV.2 Illustration d'une structure de chaussée rigide.

Critères de choix d'un type de chaussée :

Les critères qui interviennent dans le choix d'un type de chaussée sont :

- Coûts de construction et d'entretien.
- Objectifs de gestion des chaussées.
- Conditions locales d'approvisionnement en matériaux.
- Sol support.
- Délais de mise en œuvre.
- Possibilités de phasage des travaux, de renforcement ultérieur des chaussées.
- Climat.

Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques :

Méthode forfaitaire :

Le dimensionnement forfaitaire permet de calculer l'épaisseur équivalente d'une chaussée, en utilisant les abaques ou les formules de dimensionnement, en considérant l'application de la charge normale de calcul « P' » obtenue à partir de la charge réelle pondérée « P », qui est liée à « l'Aire » de la chaussée considérée. La charge réelle pondérée « P' » est obtenue à partir de la charge réelle « P », qui est en fonction des caractéristiques de l'avion le plus contraignant vis-à-vis de la chaussée. Les calculs sont réalisés en tenant compte d'une hypothèse de trafic avec un nombre réel de mouvements journaliers (n) donné.

a) Choix de la charge réelle de calcul « P » :

Le choix de la charge réelle de calcul P dépend des caractéristiques des avions tels que, la masse de l'avion et sa répartition sur les atterrisseurs. Cette répartition est en fonction du centre de gravité de l'avion, du nombre d'atterrisseurs et de leurs emplacements.

- Type d'avion : Boeing B737-800
- Masse totale au roulage M (KG) : 79243
- Pourcentage de distribution de la charge totale sur atterrisseur principale (%) : 46,9
- Pression totale de gonflage des pneumatiques q (MPa) : 1,47

b) Calcul de charge pondérée « P' » et coefficients de pondération :

Les chaussées aéronautiques ne supportent pas seulement des avions, mais reçoivent également des véhicules et engins dont l'action est parfois plus critique ; La charge de calcul pondérée à considérer est en fonction des aires de la chaussée (piste, voies de circulation, aires de stationnement,...) à dimensionner.

Le schéma suivant illustre les coefficients de pondérations selon la fonction des aires, et pour

Chaque type de configuration de l'aérodrome :

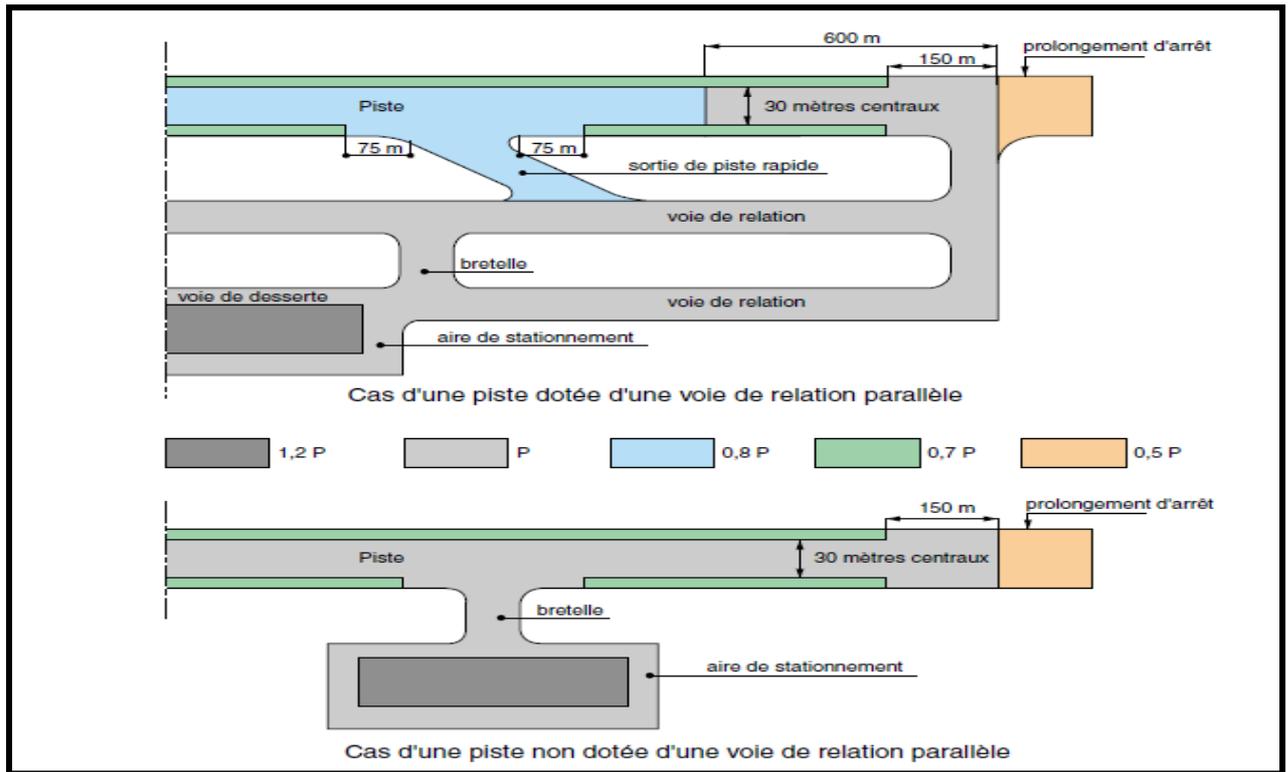


Figure IV.3 Pondération de la charge réelle, en fonction des aires d'un aérodrome.

c) Charge normale de calcul « P'' » :

La charge normale de calcul P'' est obtenue en corrigeant la charge réelle pondérée P', en retenant par convention pour l'établissement des abaques, une hypothèse de trafic de n = 10 mouvement par jour pendant 10 ans.

$$P'' = P' / CT \text{ ----- (N° 1)}$$

$$CT = 1.2 - 0.2 \log n \text{ ----- (N° 2)}$$

AVEC

CT : Coefficient de correction de fréquence du trafic.

n = nombre de mouvement par jour pendant 10 ans.

P' = charge pondérée avec « n » mouvement par jour pendant 10 ans.

P'' = charge pondérée avec 10 mouvement par jour pendant 10 ans.

d) Calcul de l'épaisseur équivalente (Ee) par la formule CBR :

La formule CBR permet de calculer l'épaisseur équivalente « Ee » de la chaussée, pour laquelle est admissible la contrainte verticale produite par une charge appliquée 10 000 fois, avec une pression d'une roue isolé « q » uniformément répartie sur l'aire « a » d'un cercle.

L'épaisseur est donnée par la formule :

$$Ee = \sqrt{P'' \times \left(\frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q} \right)} \dots\dots\dots(N^{\circ}3)$$

Avec :

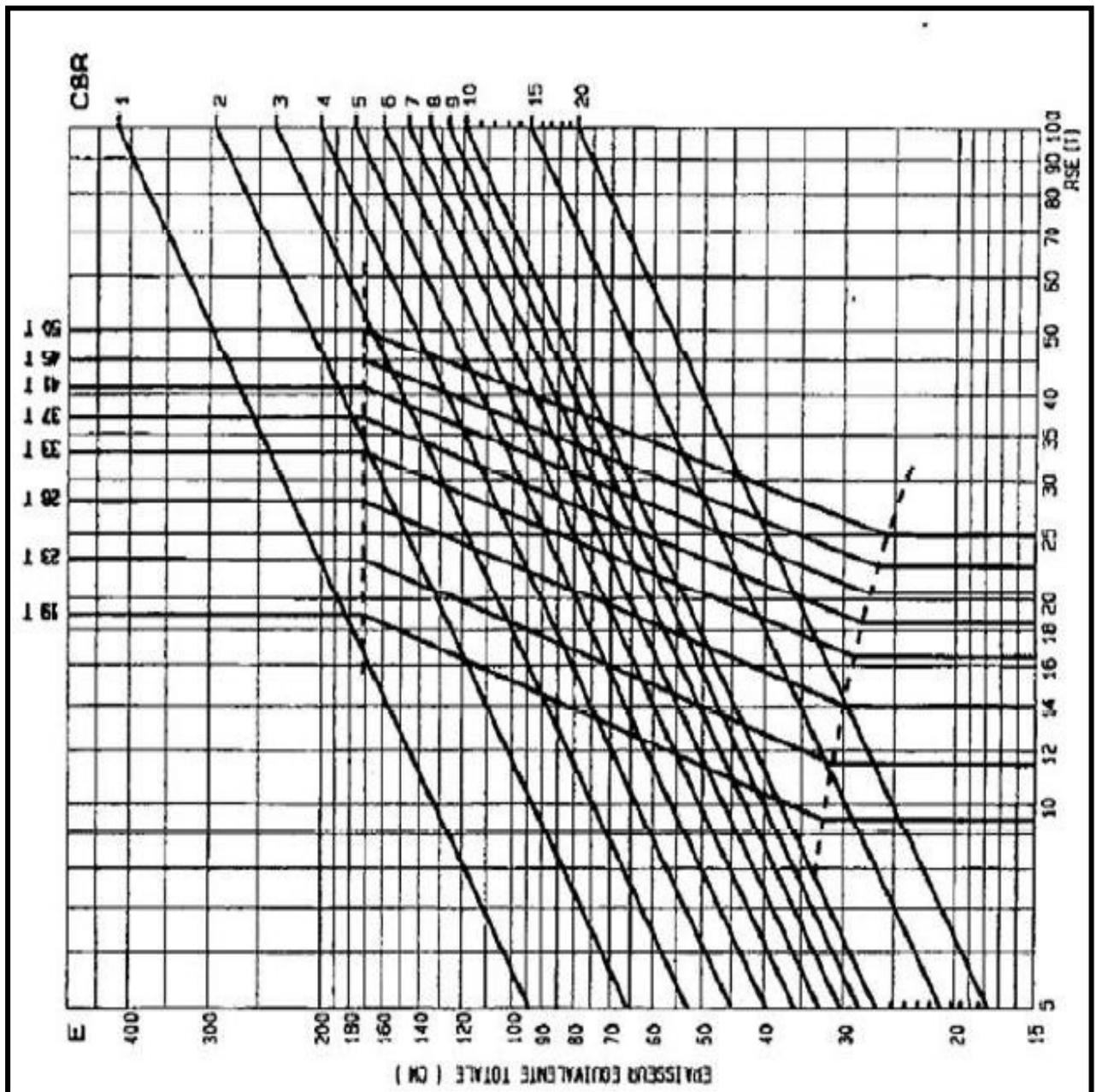
Ee : Epaisseur équivalente en cm ;

P'': Charge sur l'atterrisseur principal en kg ;

q : Pression de gonflage en MPa ;

CBR : Indice de portance du sol support à 4 jours d'imbibition.

On peut aussi déterminer l'épaisseur à l'aide de l'abaque suivant : (B 737 800)



FigureIV.4 Abaque de dimensionnement caractérisant le B737-800.

Méthode ACN-PCN :

La méthode ACN-PCN est un système international normalisé de communication et de renseignement, élaboré par l'OACI, permettant de déterminer l'admissibilité d'un avion sur un aéroport en fonction de la résistance des chaussées de la plate-forme concernée.

Cette méthode est destinée à des aéronefs dont la masse est supérieure à 5700 Kg, elle sert à la gestion des infrastructures d'un aéroport, mais peut aussi servir au dimensionnement de ces dernières par le biais d'un établissement d'hypothèses de calcul, chose que vous pourriez constater dans les paragraphes qui suivent.

a) Définition de l'ACN et PCN :

- **ACN** (Aircraft Classification Number) : C'est un nombre évalué par le constructeur, exprimant l'effet d'un avion de type donné sur une chaussée de type donné (souple, ou rigide) pour une catégorie spécifiée de sol support.
- **PCN** (Pavement Classification Number) : Représente un nombre exprimant la portance d'une chaussée donnée, sa détermination est laissée aux gestionnaires d'aéroport.

b) Principe général de la méthode :

La méthode peut se résumer par le principe suivant :

Le PCN d'une chaussée indique qu'un avion dont l'ACN est inférieur ou égal à ce PCN peut utiliser cette chaussée sans restrictions, que celle pouvant être liée à la pression des pneumatiques (pression maximale admissible).

Si l'ACN de l'avion est supérieur au PCN de l'infrastructure, ou que la pression de ses pneumatiques est supérieure aux limites admissibles par cette dernière, alors l'admissibilité de l'avion est soumise aux règles de la procédure de dérogation.

c) Détermination des ACN :

Les procédures normalisées pour le calcul des ACN utilisent des méthodes empiriques fondées sur l'expérience (nombreux tests sur piste), à laquelle viennent s'ajouter des considérations théoriques. Sur chaussées souples est employée la méthode CBR, basée sur le poinçonnement du sol support et la transmission des charges dans un espace semi-infini selon Boussinesq, alors que sur chaussées rigides sont utilisées les équations de Westergaard.

L'ACN d'un avion est fonction :

- Des masses (max et min) des avions ;
- Du pourcentage V_s (%) descendu par l'atterrisseur principal ;

- Du type de structure (souple ou rigide) ;
- De la catégorie du sol support (A, B, C, ou D);
- De la pression des pneumatiques.

L'ACN est exprimé comme étant égal à (02) deux fois la charge admissible (en tonnes) sur une roue simple équivalente (RSE qui est fonction de l'atterrisseur principal) gonflée à 1,25 MPa, appliquée 10 000 fois, les étapes de calcul sont telles que montrées dans la figure suivante :

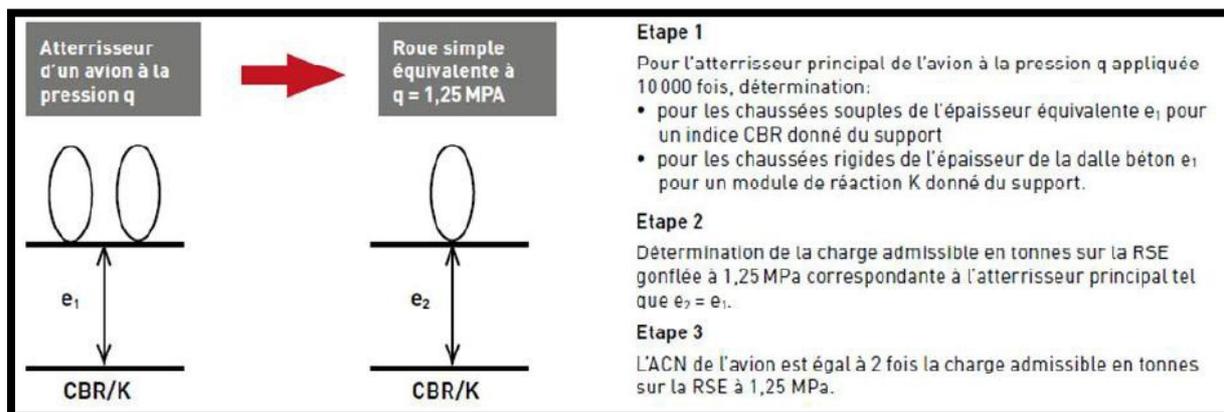


Figure IV.5 Processus de calcul de l'ACN d'un aéronef.

Les valeurs des ACN sont publiées par l'OACI, et peuvent être trouvées aussi dans l'Aéroport Planning édité par le constructeur de l'avion.

Le tableau suivant illustre la manière dont sont publiés les ACN des avions :

Tableau IV.1: ACN de l'avion B737-800

Type d'Avion	Masses(kg) Maximale minimale	Vs (%)	q (MPa)	Chaussée souple				Chaussée rigide			
				A	B	C	D	A	B	C	D
B737 800	79 243	46,9	1,47	44	46	51	56	51	53	56	57
	40 600			21	21	23	26	24	25	26	27

Catégories de sol support varient selon leurs indices CBR (chaussée souple), ou leurs modules de réaction K (chaussée rigide), ces classes sont définies dans le tableau suivant :

Tableau IV.2: Catégories de sol support.

Code lettre	Catégorie du sol support	Valeurs de CBR ou de K
A	Résistance élevée	CBR>13 $k > 120 \text{ MN/m}^3$
B	Résistance moyenne	$8 \leq \text{CBR} \leq 13$ $60 \leq K \leq 120 \text{ MN/m}^3$
C	Résistance faible	$4 \leq \text{CBR} \leq 8$ $25 \leq K \leq 60 \text{ MN/m}^3$
D	Résistance ultra faible	CBR<4 $K < 25 \text{ MN/m}^3$

d) Détermination des PCN :

L'indice PCN est un nombre sans unités, affecté d'un code de (04) quatre lettres apportant les renseignements tels que montrer dans le tableau suivant :

Tableau IV.3: L'indice PCN.

Type de chaussée	Catégorie du support			Pression pneumatique (Mpa)	Méthode d'évaluation
	code	CBR (chaussée souple)	K (chaussée rigide)		
		(%)	(MN/m^2)		
R : rigide	A: élevée	> 13	> 120	W: pas de limitation X : ≤ 1.5 Y : ≤ 1.0 Z : ≤ 0.5	U : expérience T : technique
	B: moyenne	8..13	60..120		
F : flexible	C: bas	4..8	25..60		
	D: très bas	< 4	< 25		

e) Évaluation technique du PCN :

Le calcul forfaitaire du PCN permet de déterminer ce dernier à partir des seules caractéristiques de la chaussée, sans qu'il soit fait référence au trafic qu'elle reçoit, il passe par l'abaque de dimensionnement de la charge maximale admissible sur roue simple isolée (RSI), gonflée à 0,6 Mpa pouvant lui être appliquée.

Cette charge est ensuite majorée par un coefficient « H(CBR) » fonction lui-même de la catégorie du sol support.

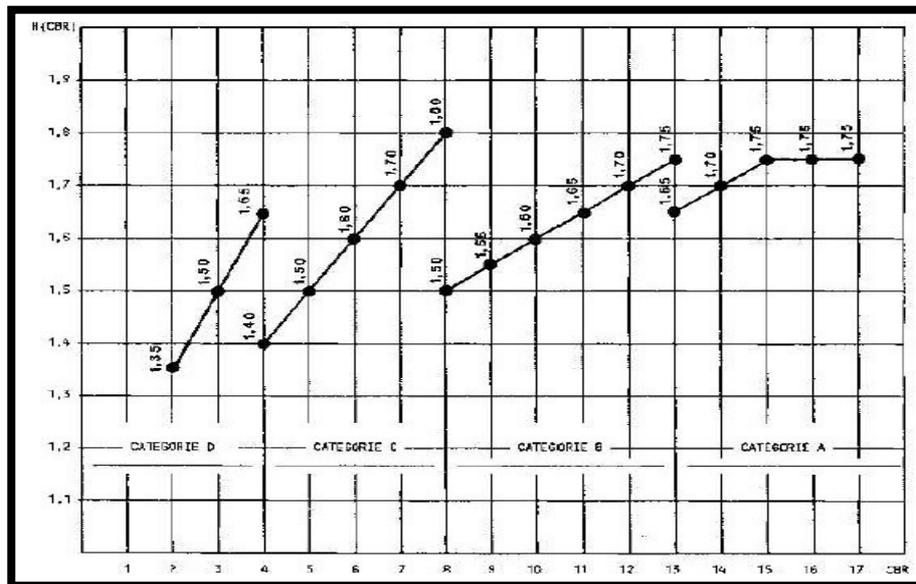
$$\text{PCN} = \text{H}(\text{CBR}) \times \text{RSI} (\text{chaussée souple}) \text{ ----- (N}^\circ 4)$$

$$\text{Ou : PCN} = \text{G}(\text{K}) \times \text{RSI} (\text{chaussée rigide}) \text{ ----- (N}^\circ 5)$$

RSI = Roue simple isolée.

H et G déterminés par les abaques suivant :

- ❖ Valeur du coefficient H (CBR) pour le calcul du PCN approchée sur chaussées souples



- ❖ Valeur du coefficient G (K) pour le calcul du PCN approchée sur chaussées rigides

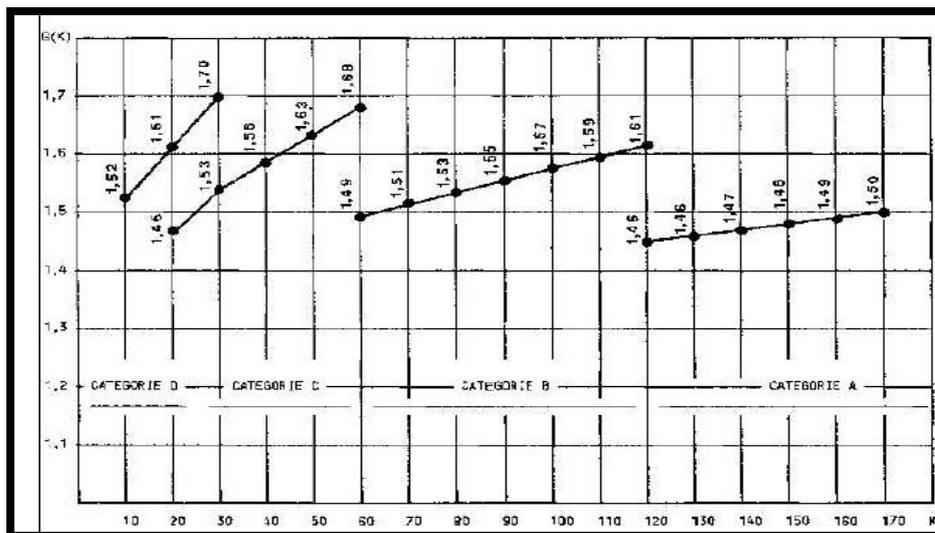


Figure IV.6 Abaques des coefficients de correction du PCN.

Sur la base des caractéristiques de la chaussée (épaisseur équivalente e , CBR du sol support) le calcul de RSI (pour chaussée souple) peut être obtenue par l'équation suivante :

$$RSI = \frac{e^2}{100} \times \frac{6,12}{5,013 \times \log(CBR/0,6) + 2,426 \times (\log(CBR/0,6))^2 - 0,473 \times (\log(CBR/0,6))^3} \quad -- (N^{\circ} 6)$$

Avec :

e : épaisseur équivalente du corps de chaussée (cm) ;

Les logarithmes sont décimaux ;

La RSI est en tonnes.

f) Dimensionnement par la méthode ACN-PCN :

On remarque à travers ce qui a été détaillé précédemment dans cette méthode, qu'on peut par retro calculs Optimisés, calculer l'épaisseur équivalente du corps de chaussée en admettant l'hypothèse suivante : Existence d'un type d'avion référence utilisant la chaussée qui est nettement plus contraignant pour celle-ci et dont une grosse part du trafic lui revient.

Ainsi donc à travers le principe de la méthode ($ACN \leq PCN$) et avec les équations (4) et (6) précédentes on peut déduire que l'épaisseur équivalente d'une chaussée souple peut être déterminée comme suite :

$$E_{eq} \geq \frac{1000 \cdot ACN \cdot |4,231 - 5,013 \cdot \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right) + 2,426 \cdot \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)^2 - 0,473}{6,12 \cdot H_{CBR}} \quad \text{---(N°7)}$$

Méthode HWD « Programme ELMOD 6 » :

Cette méthode est basée sur les essais au déflectomètre à masse tombante HWD (Heavy Weight Deflectometer) et dont les résultats sont analysés et traités avec le programme « ELMOD 6 » (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design).

L'aspect analytique de cette méthode lui confère une gestion de chaussée inégalable, tels que :

- Détermination des caractéristiques résiduelles des chaussées existantes (Durée de vie restante, portance, et les modules élastiques) ;
- Modélisation et prédiction de l'évolution des chaussées ;
- Procéder à une planification stratégique d'intervention d'entretien ;
- Analyse économique et simulations budgétaires ;
- Dimensionnement structural.

ELMOD 6 est un programme de retro calcul, ou d'inversion, basé sur une approche statique itérative, qui procède à la détermination des modules élastiques des couches de chaussée, basés sur les essais au HWD, afin d'évaluer les différents paramètres liés a la gestion des chaussées cité précédemment.

Cette approche tient compte de beaucoup d'aspects tels que :

- Les déflexions maximales mesurées aux géophones et leur position ;
- La charge maximale, et les épaisseurs des couches du modèle multicouche représentant la chaussée ;

- La loi de comportement élastique linéaire ou non selon le matériau, ainsi qu'une loi de fatigue...etc.

La structure est modélisée dans notre cas par un système à Trois (03) couches de matériaux (matériaux bitumineux BB+GB « E1 », matériaux non traités GC « E2 », et sol support d'épaisseur semi-infini), homogènes, isotropes, et d'élasticités linéaires, et qui sont supposées être collées et d'épaisseur uniforme et horizontalement infinie, tel que montré dans la figure suivante :

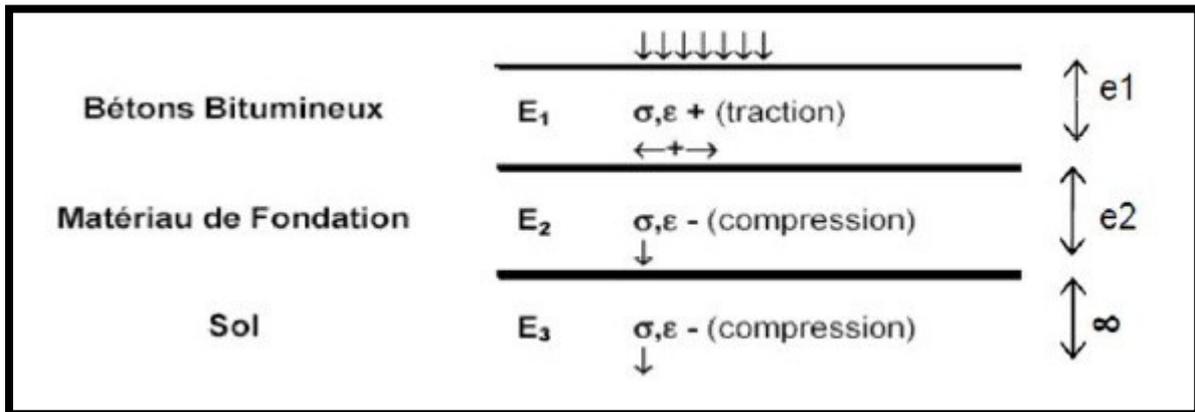


Figure IV.7 Modélisation du corps de chaussée sous ELMOD 6.

- ❖ A travers les différentes méthodes exposées ci-dessus, et au vue des données et des spécificités relatives à notre projet tels que :
 - Absence des données actuelles, et prévisionnelles relatives au trafic (nombres et fréquences des mouvements journaliers, types d'avions fréquentent l'aérodrome, différents chargements appliqués...etc)
 - Évolution sur les chaussées d'un type d'avion nettement plus contraignant qui est dans notre cas le Boeing 737-800.

On peut conclure que la méthode la mieux indiquée pour le dimensionnement de nos infrastructures, est la méthode **forfaitaire du S.T.B.A.**

Application de la méthode forfaitaire :

La charge réelle P :

Le tableau des caractéristiques d'un Boeing 737-800 indique que 46.9 % de la charge totale est supportée par l'Atterrisseur principal, d'où la charge réelle :

$$P = 79,243 * 0.469 = 37.164 \text{ Tonnes}$$

$$\Rightarrow P = 37,2 \text{ Tonnes}$$

La charge pondérée P' :

La pondération de la charge « P » se fait selon la fonction de l'aire considérée, avec :

$P' = P \times C_p$ Tel que : C_p est le coefficient de pondération.

Les résultats des charges pondérées sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.4: Résultats des charges pondérées.

Chaussée	Coefficient de pondération C_p	Charge pondérée P' (Tonnes)
PISTE + BRETELLES	1	37,2
ACCOTEMENTS	0.7	26,04
PARKING	1.2	44,64

La charge normale P'' :

L'hypothèse de trafic $n = 10$ mouvements par jour pendant 10 ans :

$$CT = 1.2 - 0.2 \log_{10} 10 = 1 \rightarrow P'' = P'$$

Les résultats des charges normales sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau IV.5: Résultats des charges normales.

Chaussée	Coefficient de pondération C_p	Charge pondérée P' (Tonnes)	Charge normale P'' (Tonnes)
PISTE + BRETELLES	1	37,2	37,2
ACCOTEMENTS	0.7	26,04	26,04
PARKING	1.2	44,64	44,64

L'épaisseur équivalente (E_e) :

Le calcul des épaisseurs équivalentes totales peut se faire, soit à l'aide de l'abaque propre au B737-800 fournie par le STBA, ou par la formule suivante :

$$E_e = \sqrt{P'' \times \left(\frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q} \right)} \dots\dots\dots(N^{\circ}8)$$

AVEC :

$$CBR = 5\%$$

$$Q = 1,47 \text{ MPA}$$

Dans notre cas on a utilisé l'abaque.

Les résultats des épaisseurs équivalentes sont dans le tableau suivant :

Tableau IV.6: Les résultats des épaisseurs équivalentes.

Chaussée	Charge normale P'' (Kg)	L'épaisseur équivalente Ee(Cm)
PISTE + BRETELLES	37200	95
ACCOTEMENTS	26040	65
PARKING	44640	110

Calcul des épaisseurs réelles des couches de chaussée :

L'épaisseur équivalente « e_i » d'une couche est égale à son épaisseur réelle, multipliée par un coefficient numérique appelé coefficient d'équivalence « C ».

Le choix final d'une structure se fait en fixant ces épaisseurs de manière à vérifier la condition suivante :

$$\sum (e_i \cdot c_{ei}) \leq Ee \quad \dots\dots\dots(N^{\circ}9)$$

Avec :

e_i : Epaisseur réelle d'une couche de matériau ;

C_{ei} : Coefficient d'équivalence du matériau.

❖ Coefficients d'équivalences :

Le tableau suivant récapitule les différents coefficients d'équivalence des matériaux du corps de chaussée :

Tableau IV.7: Les coefficients d'équivalence des matériaux du corps de chaussée.

Matériaux neufs	Matériaux neufs Coefficients d'équivalence
Béton bitumineux a module élevée	2.5
Béton bitumineux aéronautique	2
Enrobé à module élevé	1.9
Grave- bitume	1.5
Grave-émulsion	1.2
Grave traitée aux liants hydrauliques	1.5
Grave concassée bien graduée	1
Sable traité aux liants hydrauliques	1
Sable	0.5

Les épaisseurs équivalentes sont dans le tableau suivant :

Tableau IV.8: Les épaisseurs équivalentes.

Chaussée	Couches du corps de chaussée	Coefficients d'équivalence	Epaisseurs De couches (cm)	Epaisseurs équivalentes (cm)	Epaisseurs équivalentes totales (cm)	Epaisseurs équivalentes totales neuves (cm)
Piste + Bretelles	BB	2	8	16	95	95
	GB	1.5	15	22.5		
	GC	1	25	25		
	TUF	0.75	42	31.5		
Accotements	BB	2	10	20	65	65
	GC	1	30	30		
	TUF	0.75	20	15		
Parking	BB	2	8	16	110	110
	GB	1.5	20	30		
	GC	1	25	25		
	TUF	0.75	52	39		

Calcul des épaisseurs équivalentes résiduelles des chaussées existantes:

Les sondages carottés réalisés sur les chaussées de l'aérodrome d'In Salah nous ont permis d'obtenir les épaisseurs résiduelles réelles (**Voir Chapitre III, page 24 et 25**). En utilisant les coefficients d'équivalence des matériaux mis en œuvre, on peut calculer ces dernières.

Compte tenu de l'état de dégradation des infrastructures de notre aérodrome, (notamment la couche de roulement en béton bitumineux), un fraisage de cette dernière sur une épaisseur **de 08 cm** s'avère nécessaire. De ce faite, il faudrait tenir compte dans le calcul des épaisseurs équivalentes résiduelles.

Les structures des chaussées existantes sont les suivantes :

❖ Piste et bretelles :

- 8 cm du béton bitumineux 0/14 ;
- 12 cm de grave bitume 0/20 ;
- 20 cm de grave concassée ;
- 30 cm de tuf.

❖ **Parking :**

- 8 cm du béton bitumineux 0/14 ;
- 24 cm de grave bitume 0/20 ;
- 20 cm de grave concassée ;
- 30 cm de tuf.

❖ **Accotement :**

- 5 cm de micro-béton bitumineux 0/10 ;
- 50 cm de grave concassée.

Détermination des épaisseurs de renforcement :**Tableau IV.9:** Les épaisseurs de renforcement.

Aire aéronautique	Épaisseur équivalente Totale après fraisage (cm)	Épaisseur équivalente Totale tirée de l'abaque (cm)	Déficit (cm)
Piste et bretelles	46.6	95	48,4
Parking et route de service	64.7	110	45,3
Accotements	37,5	65	27,5

Afin de satisfaire les conditions relatives à l'épaisseur équivalente totale de la chaussée renforcée, les épaisseurs des couches de renforcement seront réparties comme suit :

Tableau IV.10: Les épaisseurs des couches de renforcement.

Aire Aéronautique	Nature de couche	Épaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Épaisseur équivalente (cm)	Épaisseur équivalente de la chaussée renforcée (cm)
Piste et bretelles	Béton bitumineux 0/14	8	2	16	95.6
	Grave bitume 0/20	12	1.5	18	
	Grave bitume 0/20	10	1.5	15	
Parking	Béton bitumineux 0/14	8	2	16	113.7
	Grave bitume 0/20	12	1.5	18	
	Grave bitume 0/20	10	1.5	15	
Accotements	Micro béton bitumineux 0/10	5	2	10	67.5
	Grave concassée 0/20	20	1	20	

Résumé des résultats du renforcement obtenu et leur mise en œuvre :

Nous constatons que les structures adoptées satisfassent les conditions suscitées, de ce fait la procédure de renforcement des différentes infrastructures sera comme suit :

❖ Piste principale et bretelles:

- Fraisage de 8 cm de béton bitumineux ;
- Nettoyage de la surface du grave bitume et colmatage éventuel de fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;

- mise en œuvre d'une couche de reprofilage de 10 cm en grave bitume 0/20 ;
- L'application de la couche d'accrochage;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 12 cm en grave bitume 0/20 ;
- L'application de la couche d'accrochage;
- L'interposition de la nappe du géogrille de renforcement sur les 30 m centraux de la piste et sur les 15 m centraux des bretelles ;
- l'application de couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- mise en œuvre d'une couche de roulement de 8 cm en béton bitumineux 0/14.

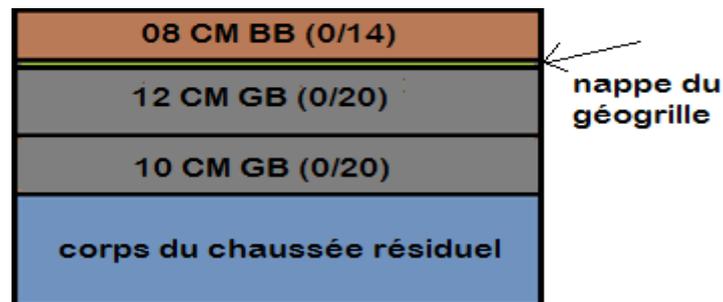


Figure IV.8 Illustration du renforcement de la Piste + Bretelles.

❖ Parking :

- Fraisage de 8 cm de béton bitumineux ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage éventuel de fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de reprofilage de 10 cm en grave bitume 0/20 ;
- L'application de la couche d'accrochage ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 12 cm en grave bitume 0/20 ;
- L'application de couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement de 8 cm en béton bitumineux 0/14.



Figure IV.9 Illustration du renforcement de parking.

❖ Accotements :

- Fraisage de la couche de roulement de 5 cm de micro-béton bitumineux ;
- Nettoyage et soufflage de la surface fraisée ;
- Mise en œuvre d'une couche de 20 cm en grave concassée 0/31,5 ;
- L'imprégnation au cut-back 0/1 ;
- Mise en œuvre d'un revêtement de 5 cm en micro-béton bitumineux 0/10.

Concernant les POR la structure de chaussée à mettre en place sera la suivante :

- Une couche de grave concassée 0/31,5 de 20 cm d'épaisseur ;
- Un revêtement de 5 cm en micro-béton bitumineux 0/10.

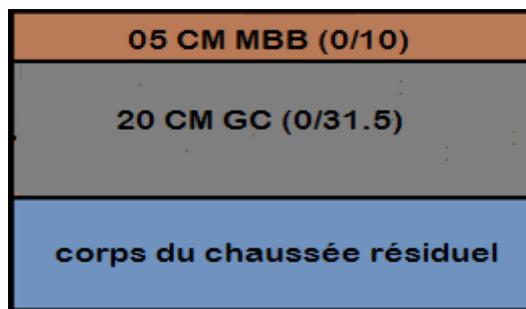


Figure IV.10 Illustration du renforcement de l'accotement.

La géogridde :

Une géogridde est une structure plane constituée d'un réseau d'éléments ouvert et régulier, résistants à la traction, elles sont fabriquées en polypropylène, polyester ou fibres de verre à base de polymère, leurs ouvertures ont des dimensions supérieures à celles des constituants et permettant le confinement du sol.

La grandeur de ses mailles varie généralement de 1 à 10 cm pour permettre la pénétration des gros éléments du sol et la création d'un effet d'imbrication de ces constituants dans la géogridde.



Figure IV.11 Illustration d'une nappe de Géogridde

a) Rôle des géogrilles:

Les géogrilles jouent un rôle très important dans le cadre du renforcement des chaussées aéronautiques, elles se caractérisent par un allongement très important à la rupture (généralement supérieur à 35 %), une grande résistance à la traction, aux agressions chimiques et biologiques et aux endommagements mécaniques.

Elles assurent aussi l'interaction entre les couches de chaussée avec une longueur d'ancrage relativement courte, empêchent les dégradations des couches sous-jacentes, ainsi que la transmission et la remontée des fissures, donc de ce fait les géogrilles permettent de prolonger la durée de vie de la chaussée.

b) Caractéristiques techniques des géogrilles :

- Résistance à la traction (standard) entre 20 KN/m et 150 KN/m, parfois plus de 1000 KN/m ;
- Les caractéristiques de traction et d'allongement ne varient que faiblement sous les variations importantes de température et sous les contraintes permanentes.
- Elles ne sont pas cassantes et ne représentent pas une matière inflammable, si elles sont mises en œuvre de façon appropriée ;
- Les mailles permettent une imbrication parfaite avec les sols respectifs. L'ouverture des mailles peut être adaptée aux exigences requises ;
- Les géogrilles sont conditionnées de manière standard en 5 m de large et 200 m de long.

c) Mise en œuvre de la géogrille :

Les géogrilles sont faciles à mettre en œuvre, car elles peuvent être déroulées et plissées. Elles peuvent être facilement découpées aux dimensions voulues. Les géogrilles avec nœuds rigides une fois déroulé restent sur place et n'ont pas de débords coupants, pouvant entraîner des blessures.

Profile en travers type piste 05/23

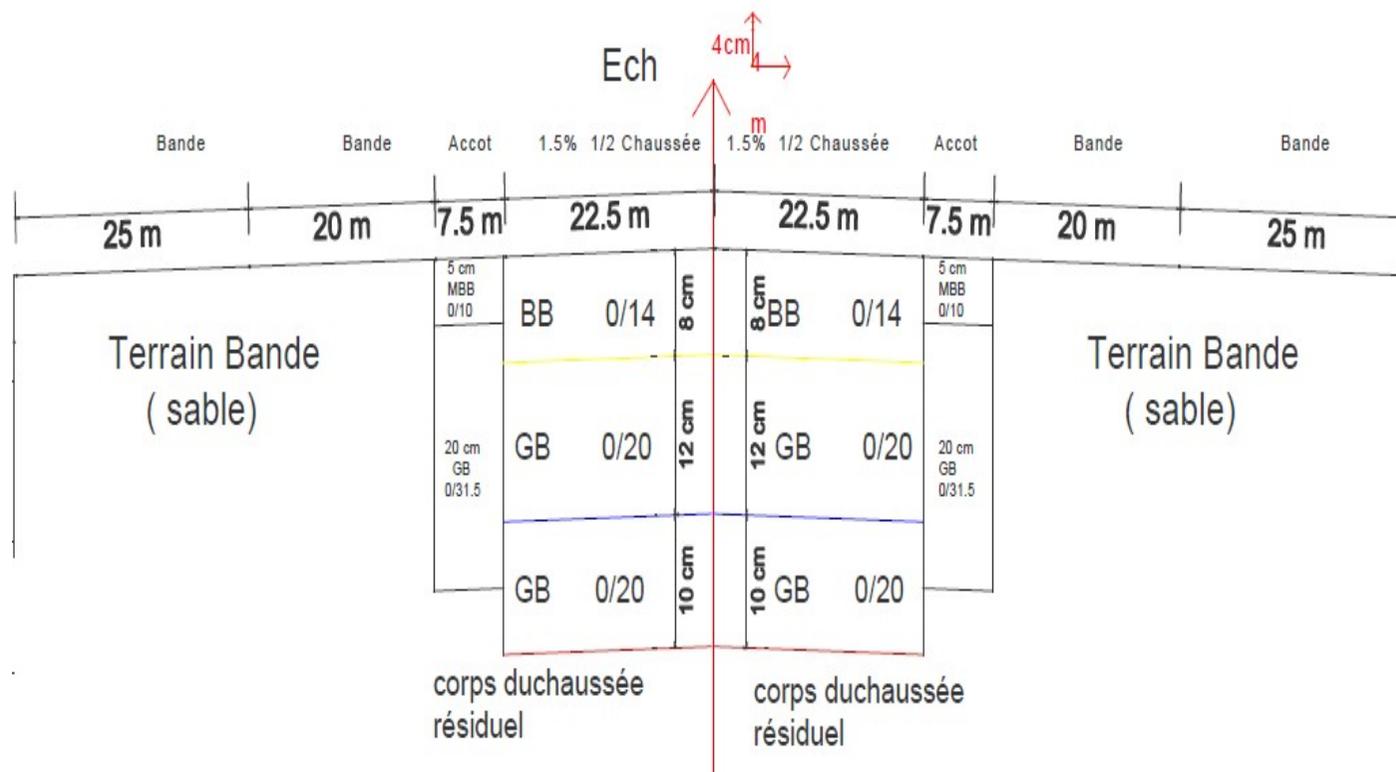


Figure IV.12 : Profile en travers type pour la piste 05/23

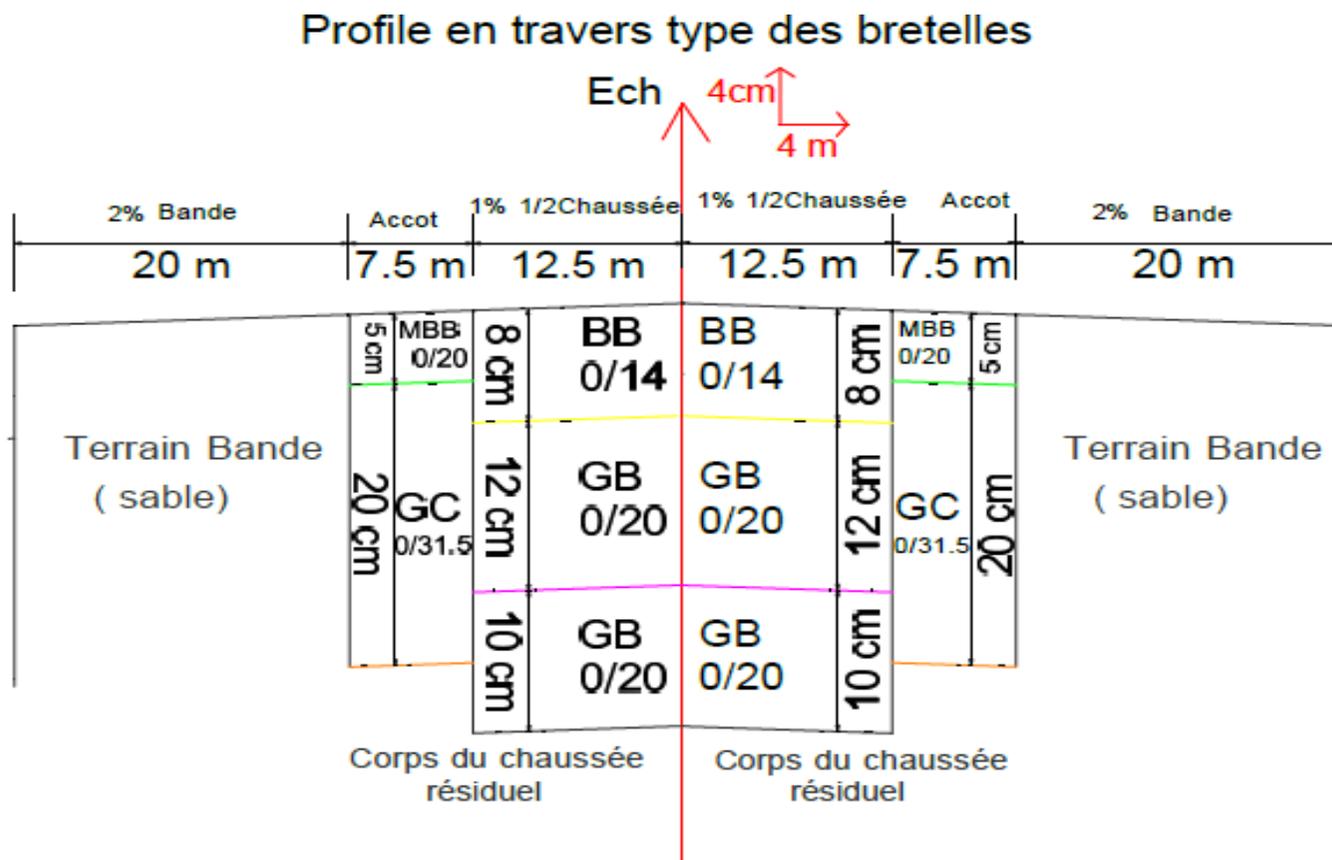


Figure IV.13 : Profile en travers type pour les deux bretelles

Profile en travers de parking

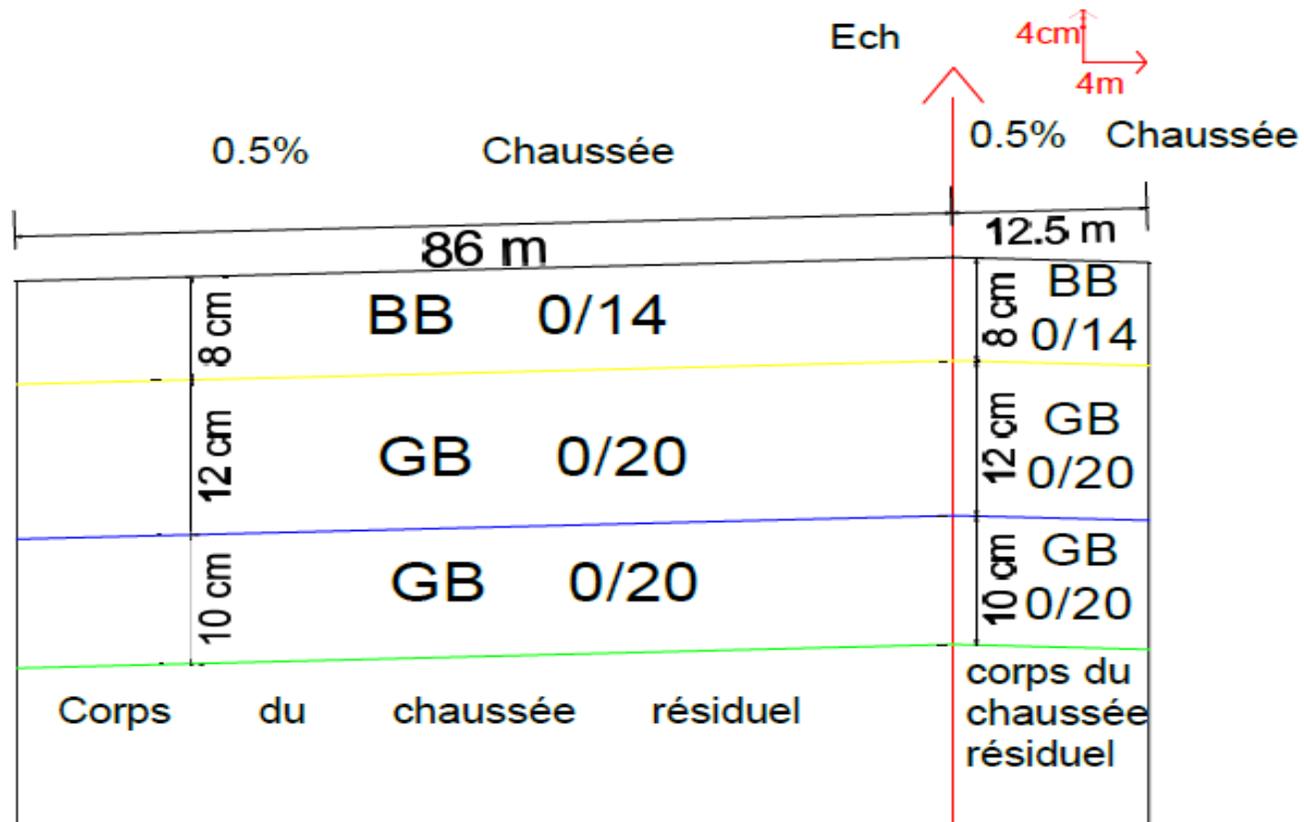


Figure IV.14 : Profile en travers type pour le parking

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les infrastructures de l'aérodrome de In Salah, et après auscultation et expertise, ont été déclarées comme présentant un état de service moyen avec des désordres d'ordre structurel, d'où la nécessité d'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 l'aéronautiques.

La synthèse qu'on pourrait faire de cette modeste étude qu'on vient de faire, est que avant toute prise de décisions concernant une intervention à accomplir (Démolition, réfection, conception d'un nouveau projet...etc) sur un ouvrage de génie civil existant, 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 de faire une synthèse des connaissances que l'on a reçu durant nos 10 semestres d'étude sur les bancs de l'université Akli Mohand Oulhadj, d'acquérir de l'expérience concernant l'élaboration d'une étude de renforcement des infrastructures aéroportuaires, et l'utilisation des nouvelles technologies de construction, ainsi que d'élargir nos connaissances dans le domaine du génie civil en général et celui de la conception d'aérodromes en particulier.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Services de l'Information Aérienne (SIA) Algérie www.sia-enna.dz ;
- Etablissement de Gestion des Services Aéroportuaires d'Alger (EGSA-Alger) www.egsa-alger.dz;
- O.A.C.I Annexe 14 à la convention relative à l'aviation civil internationale, Volume I : Conception et exploitation des aérodromes, 04 édition Juillet 2004 ;
- O.A.C.I Document N° 9157 AN/901 : Manuel de conception des aérodromes Partie 2, 04 édition - 2005 ;
- Service Technique des Bases Aériennes (S.T.B.A), L'auscultation des aérodromes Septembre 1994
- DGAC, STAC, Catalogue de dégradations des chaussées aéronautiques Avril 2007
- DGAC, STAC, STBA, Guide de dimensionnement des chaussées aéronautiques volume 1 et volume 2, 1983
- DGAC, STAC, STBA, Tableaux de caractéristiques et abaques de dimensionnement des chaussées d'aérodromes 1993
- Boeing Commercial Airplanes, 737 Airplane Characteristics for Airport Planning D6- 58325-6, SEPTEMBER 2013
- Instructions Techniques sur les Aérodromes Civils (ITAC) ; Chapitres 1 jusqu'à 13 ; Octobre 2001.
- Données et plans relatifs à l'aérodrome d'In Salah fournies par la S.A.E.T.I et L.T.P. Sud.

ANNEXE I.2

❖ Caractéristiques du BOEING 737-800 :

CHARACTERISTICS	UNITS	MODEL 737-800, -800 WITH WINGLETS		
MAX DESIGN TAXI WEIGHT	POUNDS	156,000	173,000	174,900
	KILOGRAMS	70,760	78,471	79,333
MAX DESIGN TAKEOFF WEIGHT	POUNDS	155,500	172,500	174,200
	KILOGRAMS	70,534	78,245	79,016
MAX DESIGN LANDING WEIGHT	POUNDS	144,000	144,000	146,300
	KILOGRAMS	65,317	65,317	66,361
MAX DESIGN ZERO FUEL WEIGHT	POUNDS	136,000	136,000	138,300
	KILOGRAMS	61,689	61,689	62,732
OPERATING EMPTY WEIGHT (1)	POUNDS	91,300	91,300	91,300
	KILOGRAMS	41,413	41,413	41,413
MAX STRUCTURAL PAYLOAD	POUNDS	44,700	44,700	47,000
	KILOGRAMS	20,276	20,276	21,319
SEATING CAPACITY (1)	TWO-CLASS	160	160	160
	ALL-ECONOMY	184	184	184
MAX CARGO - LOWER DECK	CUBIC FEET	1555	1555	1555
	CUBIC METERS	44.1	44.1	44.1
USABLE FUEL	US GALLONS	6875	6875	6875
	LITERS	26,022	26,022	26,022
	POUNDS	46,063	46,063	46,063
	KILOGRAMS	20,894	20,894	20,894

NOTE :(1) OPERATING EMPTY WEIGHT FOR BASELINE MIXED CLASS CONFIGURATION.

CONSULT WITH AIRLINE FOR SPECIFIC WEIGHTS AND CONFIGURATIONS .

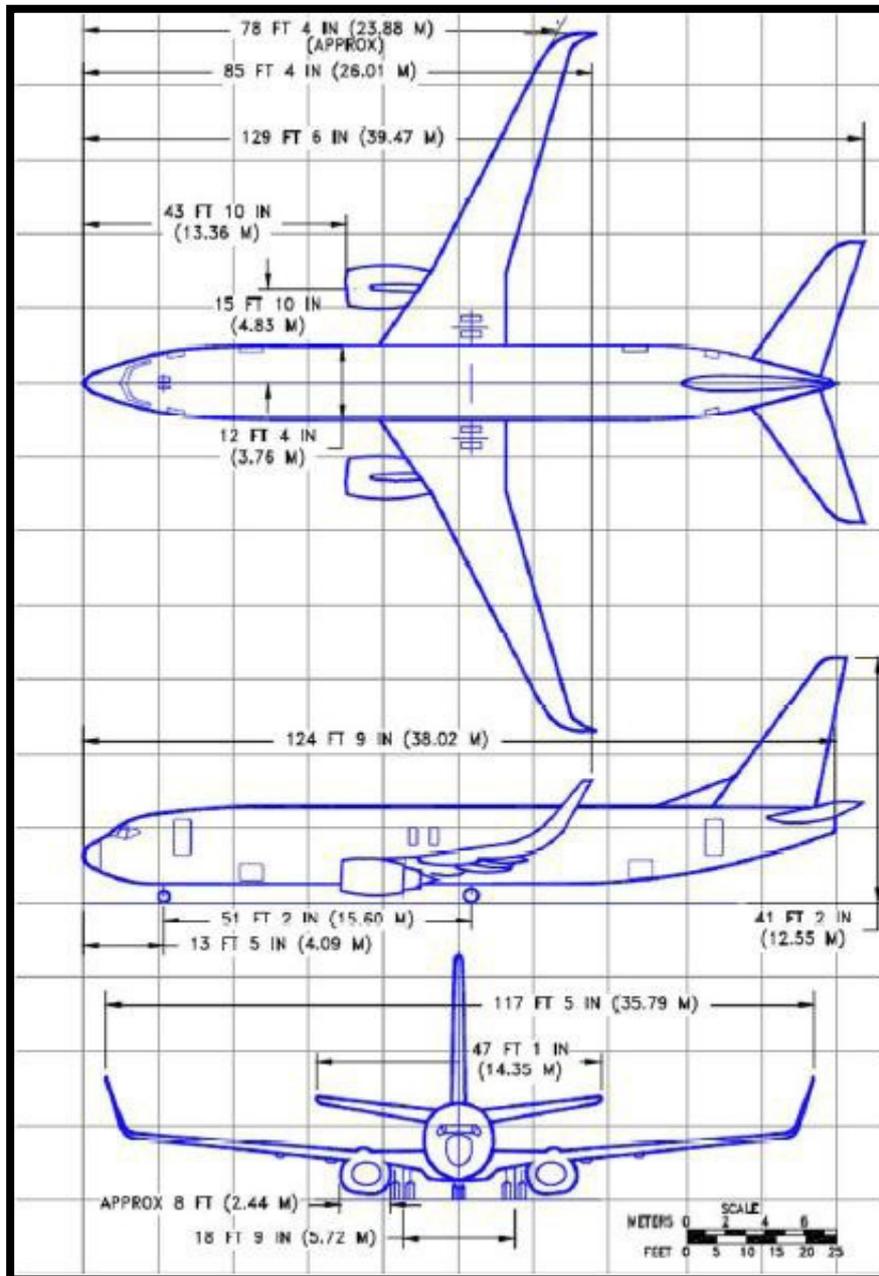
GENERAL CHARACTERISTICS

MODEL 737-800, -800 WITH WINGLETS

D6-58325-6

DECEMBER 2010 23

ANNEXE I.2



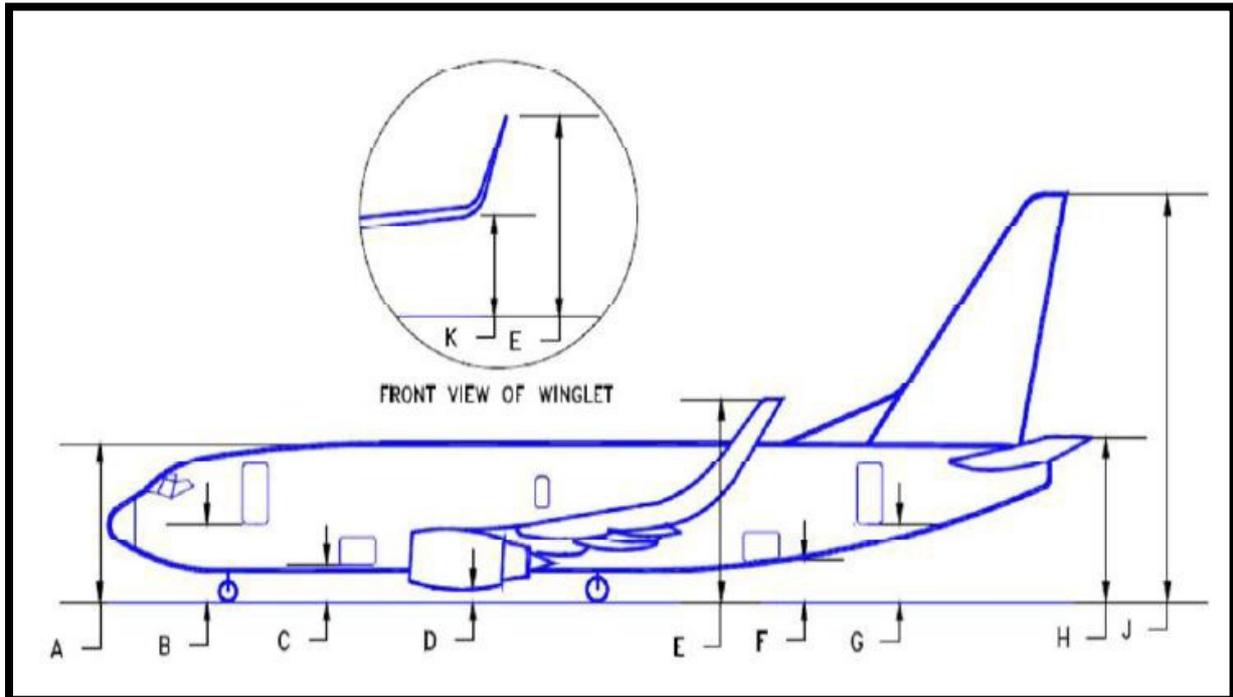
GENERAL DIMENSIONS

MODEL 737-800, WITH WINGLETS 737 BBJ2

D6-58325-6

JULY 2007 39

ANNEXE I.2



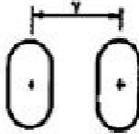
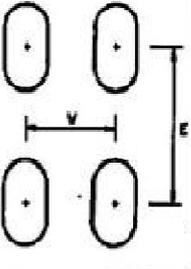
DESCRIPTION	737-700 WITH WINGLETS, BBJ				737-800 WITH WINGLETS, BBJ2				737-900 WITH WINGLETS			
	MAX (OEW)		MIN (MTW)		MAX (OEW)		MIN (MTW)		MAX (OEW)		MIN (MTW)	
	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M
A TOP OF FUSELAGE	18 - 3	5.56	17 - 9	5.41	18 - 3	5.56	17 - 9	5.41	18 - 4	5.59	17 - 10	5.41
B ENTRY DOOR NO 1	9 - 0	2.74	8 - 6	2.59	9 - 0	2.74	8 - 6	2.59	9 - 0	2.74	8 - 6	2.59
C FWD CARGO DOOR	4 - 9	1.45	4 - 3	1.30	4 - 9	1.45	4 - 3	1.30	4 - 9	1.45	4 - 3	1.30
D ENGINE	2 - 0	0.61	1 - 6	0.46	2 - 1	0.64	1 - 7	0.48	2 - 1	0.64	1 - 7	0.48
E WINGTIP	21 - 9	6.63	21 - 3	6.48	22 - 2	6.76	21 - 4	6.50	22 - 2	6.76	21 - 4	6.50
F AFT CARGO DOOR	5 - 10	1.78	5 - 4	1.63	5 - 11	1.90	5 - 5	1.65	5 - 11	1.90	5 - 5	1.65
G ENTRY DOOR NO 2	10 - 2	3.10	9 - 8	2.95	10 - 3	3.12	9 - 9	2.97	10 - 3	3.12	9 - 9	2.97
H STABILIZER	18 - 5	5.61	17 - 11	5.46	18 - 6	5.64	18 - 0	5.49	18 - 7	5.66	18 - 1	5.51
J VERTICAL TAIL	41 - 7	12.67	40 - 10	12.45	41 - 5	12.62	40 - 7	12.37	41 - 5	12.62	40 - 7	12.37
K BOTTOM OF WINGLET (APPROX)	13 - 9	4.19	13 - 3	4.04	14 - 2	4.32	13 - 4	4.06	14 - 2	4.32	13 - 4	4.06

GROUND CLEARANCE

MODEL 737-800, -800 -900 -900ER WITH WINGLETS , BBJ BBJ2

ANNEXE I.1

❖ Illustration sur les atterrisseurs des aéronefs :

Géométrie	Type d'atterrisseur	Exemples	V	E	Masses supportées	Pression de gonflage des pneumatiques
	ROUE SIMPLE	- avions légers	—	—	jusqu'à 5 t	0,3 - 0,6 MPa
	JUMELAGE (ou DIABOLO)	- avions légers - courts et moyens courriers	50-90 cm	—	5 à 40 t	0,6-1,2 MPa
	TANDEM	- avions militaires (configuration rare)	—	130-170 cm	10 à 20 t	0,4-0,8 MPa
	BOGGIE	Tous types sauf avions légers. Principalement long-courriers	40-140 cm	100-180 cm	20 à 90 t	1 - 1,6 MPa

VOIE (V) : distance entre deux roues d'un même essieu.
 EMPATTEMENT (E) : distance entre l'essieu avant et l'essieu arrière.

ANNEXE II.1

❖ **Tableau des différentes dégradations, la chaussée qu'elles affectent, et leurs CODE IS :**

Dégradations	Type de la chaussée affectée	CODE IS
Bourrelet	Chaussées souples	12
Brûlure	Chaussées souples	5
Cassure d'angle	Chaussées rigides	3
Contamination	Chaussées rigides	15
Décalage	Chaussées rigides	9
Défaut de joint	Chaussées rigides	7
Déformation en « W »	Chaussées souples	11
Dépôt de gomme	Chaussées souples / Chaussées rigides	16-DG
Désenrobage	Chaussées souples	5
Écaillage	Chaussées rigides	5
Empreinte	Chaussées souples	17
Enrobé poreux	Chaussées souples	18
Enrobé tiré	Chaussées souples	10
Épaufrure	Chaussées rigides	4
Faïençage	Chaussées rigides	5
Faïençage de fatigue	Chaussées souples	4
Faïençage de retrait	Chaussées souples	8
Fissure	Chaussées rigides	1
Fissure de fatigue	Chaussées souples	3
Fissure de joint	Chaussées souples	6
Fissure de retrait	Chaussées souples	7
Fissure en coin	Chaussées rigides	3
Fissures paraboliques	Chaussées souples	10
Flache	Chaussées souples	1
Fracture	Chaussées rigides	2
Frayée	Chaussées souples	2
Gonflement	Chaussées souples	12
Marche	Chaussées souples / Chaussées rigides	13-9
Nid-de-poule	Chaussées souples	14
Ornière	Chaussées souples	2
Pelade	Chaussées souples	5
Poinçonnement	Chaussées souples	17
Pompage	Chaussées souples / Chaussées rigides	8
Réparation ponctuelle dégradée	Chaussées souples / Chaussées rigides	9-6
Remontée d'eau	Chaussées souples	19
Remontée de fines	Chaussées souples	20
Ressuage	Chaussées souples	21
Souillure	Chaussées souples	15
Tassement différentiel	Chaussées souples	13

Codes Is des dégradations

ANNEXE III.1

❖ Plan de creusement des Puits :



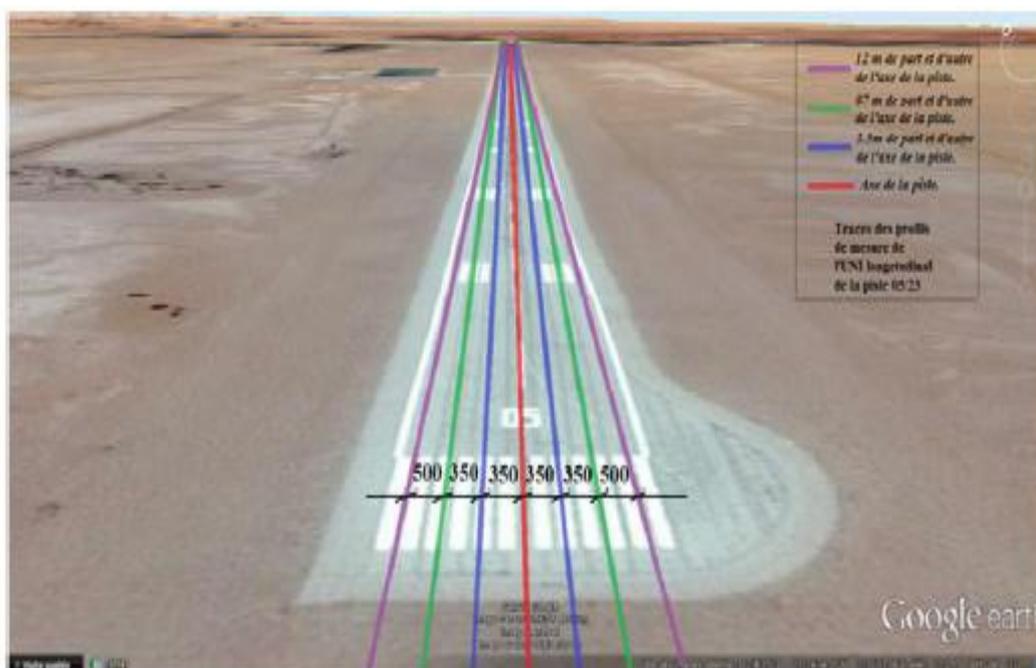
ANNEXE III.2

❖ Plan d'Intervention, et emplacements des essais au HWD :

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

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	120 ml	26 points
Profil 12g	12 ml A gauche de l'axe central de la	120 ml	26 points
TOTAL		457 Points de mesure	
Park 01		30 ml	07 points
Park 02		30 ml	07 points
Park 03		30 ml	07 points
TOTAL		21 Points de mesure	

❖ Nombre, positions, et l'intervalle des mesures des déflexions :



ANNEXE III.3

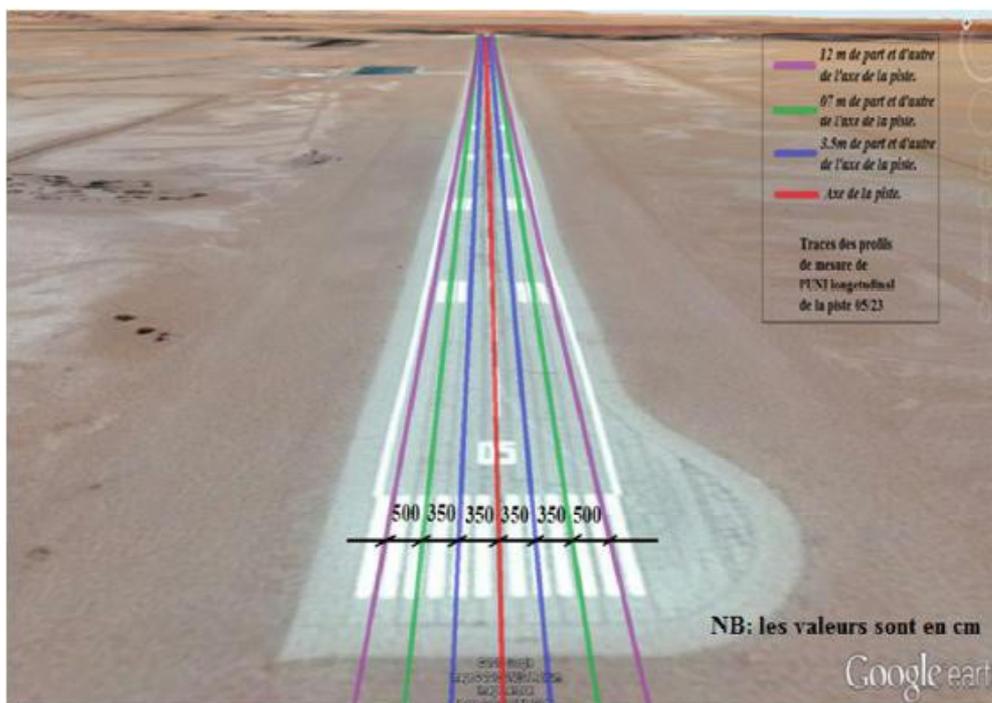
❖ Plan d'intervention de mesure de l'UNI :

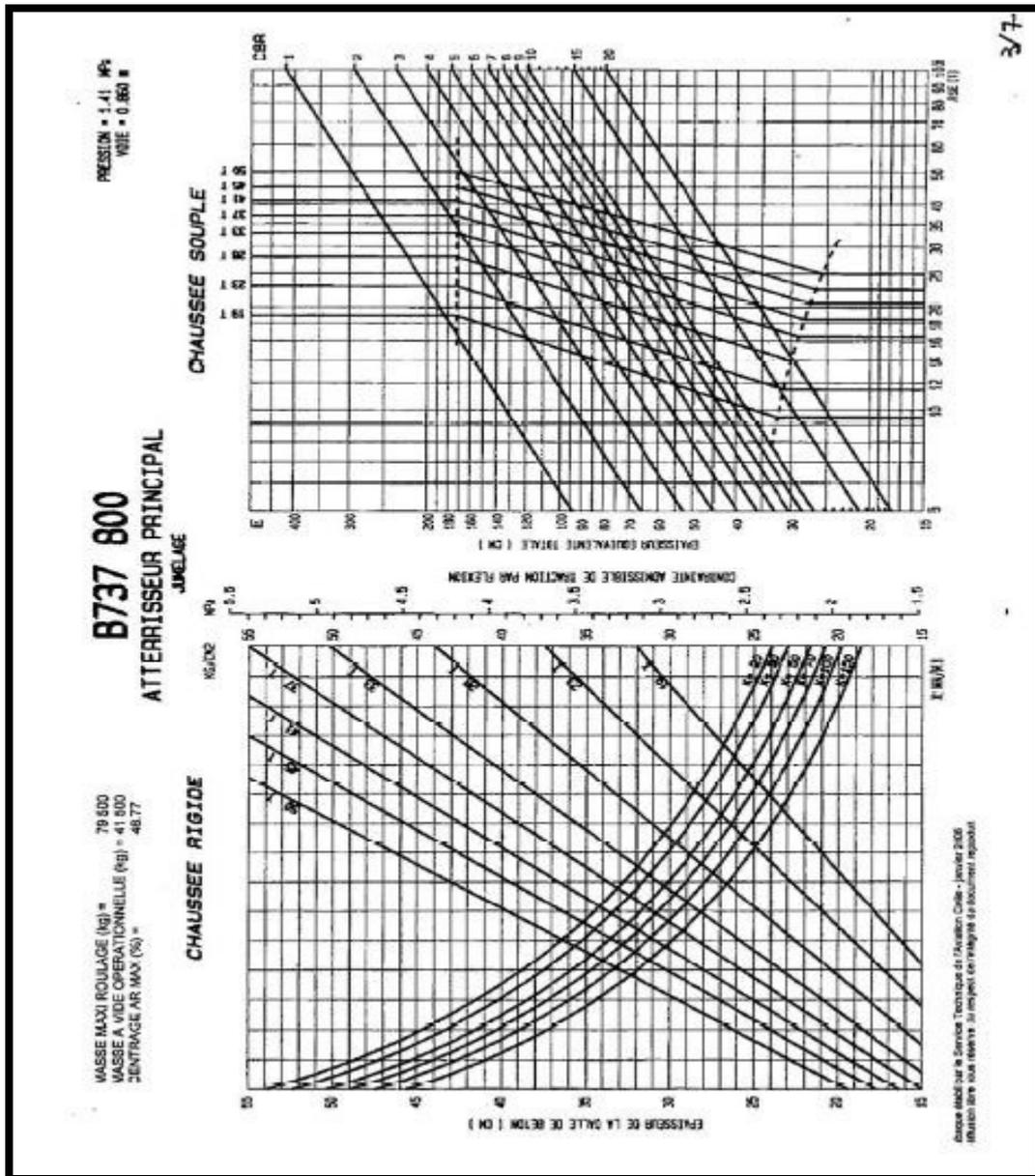
La Piste a été subdivisée en longueurs de 1KM, ce qui nous fait trois (03) tronçons à mesurer, les Sept profils de mesure le long de la piste 05/23 sont donnés dans le tableau suivant :

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
Nb profil	01	02	02	02

Positions des profils de mesure de L'UNI.

❖ Tracés des Profils des mesures de l'UNI longitudinal de la piste 05/23 :





Abaque de dimensionnement caractérisant le B737-800

ANNEXE IV.2

❖ Valeurs d'ACN du Boeing 737-800

Constructeur : BOEING		B 737-800		Mise à jour :							
Commentaire :		Numéros d'ACN									
		CLASSES									
Caractéristiques générales		CLASSE ECONOMY CLASS				CLASSE PREMIUM ECONOMY					
Masse Max au volage (kg)	Masse Max au décollage (kg)	Masse Max à Tolérance (kg)	Masse à vide opérationnelle (kg)	A	B	C	D	A	B	C	D
79243	79016	66361	41413	43	46	51	56	50	52	54	56
				21	21	23	26	23	24	26	27