REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique

Renforcement de la piste principale de l'aérodrome de Houari Boumediene d'Alger

Présenté par :

Rahmani Walid

Ikhlef Abdessemeud Mohamed

Proposé et Dirigé par :

Dr MESSAD Ali

Promotion Juin 2022

REMERCIEMENT

Nous tenons en premier lieu à remercier « Dieu le tout puissant » de nous avoir donné le courage de surmonter tous les problèmes, la santé et la patience pour mener à bien modeste travail.

Nos sincères remerciements et le grand respect à notre promoteur **Mr. Messad Ali** pour son précieux temps qu'elle a consacré à notre écoute, sa disponibilité, ses conseils judicieux et ses observations ont été d'une aide bénéfique.

Le tiens à remercier **mes parents**, qui nous ont soutenus beaucoup pendant toute la vie et qui continuerons à nous aider dans tous les projets de l'avenir.

Et on remercie **Mr. Abderrahmane Rahmani** pour ses efforts avec nous et son aide avec laquelle il nous a aidés à atteindre ce modeste travail.

Enfin, nous remercions mes frères pour leur accompagnement durant ces années et tous ceux qui ont contribué de lion ou de prés à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

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

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère **khadidja Bouzidi** qui m'a accompagné dans les moments difficiles de ma vie Tout au long de mon parcours universitaire et scolaire.

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

A l'âme de ma grand-mère **Maissa** qui me manque

A mon frère **Mohamed** et mes sœur **Rihab** et **Aya**

A toute ma famille **Rahmani** et **Bouzidi**

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

A mon **binôme** et tous **mes amis** de spécialité **Géotechnique**

Dédicaces

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

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère **Salima Bouazza** qui m'a accompagné dans les moments difficiles de ma vie Tout au long de mon parcours universitaire et scolaire.

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

A l'âme de ma grand-mère **Barkahum** et mon grand-père **Abdelkader** et ma tante **Fatiha** et Mon cher cousin **Mohamed** qui m'ont manqué.

A mon frère **Younes** et mes sœurs **Aya** et **Alaa.**

A toute La Famille **IKHLEF ABDESSEMEUD** et **BOUAZZA**.

A Mr. **karmezli Taib**.

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

A mon **binôme** et tous mes **amis** de spécialité **Géotechnique.**

الملخص:

عرف مطار الجزائر الدولي هواري بومدين في السنوات الأخيرة تطورا ملحوظ في حركة النقل الجوي، من اجل هذا سيجهز المطار بإمكانيات جديدة لاستقبال طائرات حديثة ذات الحجم الكبير.

في سياق هذه المذكرة، سوف نقوم بدراسة تعزيز المدرج الرئيسي للمطار لاستقبال الطائرات من الحجم الكبير كطائرة ايرباس A380.

تحقيق هذا المشروع يمثل أهمية كبيرة للعاصمة وللجزائر، فهو يساعد على تسهيل الحركة وتقوية الجانب السياحي والاقتصادي للبلاد.

تستند هذه الدراسة الى حساب التعزيز بالطريقة الأولية (ACN/PCN) تستند هذه الأخيرة الى درجة التدهور ومستوى الخطورة، اما المراقبة تكون بالعديد من الطرق منها: البصرية، HWDو الجيوتقنية.

الكلمات المفتاحية: التدهور، المعاينة المكانية، عينة، دراسة الجيوتقنية، ELMOD6 et HWD

Abstract :

A noticeable increase in air traffic has characterized the Algiers airport these last years, to meet this growth, the airport will provide new accommodation capacities, to receive large-sized aircraft.

In is tallied of memory, we conducted a study of the reinforcement of the Aérodrome houari Boumediene in Algiers, to receive planes of the Airbus A380.

This Project has a Great importance for the willaya and for Algeria, it contributes to facilitate travel and to strengthen the tourist and economic side of the country.

This study is based on the calculation of the reinforcement with th normal computation method (ACN/PCN), the latter method based on the amount of degradations of a pavement and the level of severity, Auscultation is found with several methods : visual, HWD, Profilometer and geotechnical recognition.

Keywords : reinforcement, ELMOD6, degradations, profilometer, HWD.

Résumé :

Une nette hausse du trafic aérien a caractérisé l'aéroport d'Alger ces dernières années. Pour répondre à cette progression, l'aéroport va se doter de nouvelles capacités pour accueillir des gros porteurs.

Dans le cadre de ce mémoire, nous étudierons le renforcement de la piste principal de l'Aérodrome d'Alger pour recevoir l'Airbus A380.

La réalisation de ce projet est d'une grande importance pour la wilaya et l'Algérie, car elle contribue à faciliter les déplacements et à renforcer le côté touristique et économique du pays.

Cette étude basée au calcul le renforcement avec la méthode de ACN/PCN, cette méthode basée sur le degré de dégradations d'une chaussée et le niveau de gravité. L'Auscultation se trouve avec plusieurs méthodes : visuelle, HWD, profilomètre, et la reconnaissance géotechnique.

Mots clés : ACN/PCN, ELMOD 6, profilomètre uni, HWD, auscultation, chaussées souples

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction Générale……...01

Chapitre I Généralité sur les aérodromes et présentation de l'appareil A380

Partie I : Généralité…….. 02

I. Importance de transport aérien dans le monde ……. .. 02
II. Organisation du transport aérien dans le monde…….. 02
III. Rôle de l'OACI…… .03
IV. Définitions : Aérodrome et Aéroport……. ..03
V. Les grands constituants d'un aérodrome……. .03
VI. Destination des aérodromes……. 07
1) Classification des aérodromes……07
2) Type des chaussées…… 07
VII. ACN / PCN ……. 08
VIII. Présentation de l'appareil A380……09

Partie II : Auscultation des chaussées essais géotechniques…….12

I. Principe de la méthode d'auscultation des chaussées……...12
II. Mesure de la déformabilité de surface…… 12
III. Portance : Déflexion du revêtement au passage d'un essieu…….……13
IV. Mesure d'uni longitudinal……14
V. Essais de détection des épaisseurs des chaussées et plateforme support……. 20
VI. Mesure l'adhérence……...24

Chapitre II Evaluation géotechnique des matériaux corps de chaussée et matériaux de renforcement

I. Constitution des couches des chaussées souples et modes d'endommagement…….25
1. La couche de forme…….. 25
2. La couche d'assise (fondation et de base) ……...….25

3. La couche de surface……25
4. Fonctionnement et endommagement des chaussées souples……25
5. Modes de renforcement d'une chaussée souple……26
6. Renforcement des chaussées souples……27
7. Évaluation de la charge admissible d'une chaussée……..27
II. Géosynthétiques……..28
1. Les principaux types et leurs applications……28
2. Les principales caractéristiques : physiques, mécaniques et hydrauliques…….. 30
III. Géogrille de renforcement à base de fibre verre…… 31
1. Fibre verre…… 31
2. Grilles en fibres de verre enduites…….32
IV. Couche d'accrochage……..33
1. Liaison des couches bitumeuses sous la grille……..33
2. Couche d'accrochage des couches bitumineuses……..34
3. Effet du dosage de la couche d'accrochage……..34
V. Enrobés bitumineux de surface……...35
1. Généralités……35
2. Les essais sur les enrobés bitumineux ……... 35

Chapitre III Présentation de l'aéroport d'Alger

I. Généralité sur l'aéroport d'Alger…….39
1. Emplacement géographique…….39
2. Renseignements concernant l'aéroport d'Alger……39
II. Infrastructures liées à l'aéroport d'Alger…… 39
1. Piste……...40
2. Aérogares …….42
3. Voies de circulation……..45
4. Les aires de stationnement…….. 46
5. Les infrastructures liées à la sécurité……46
6. Organismes de la circulation aérienne……..47
7. Autres infrastructures ……47
III. Caractéristiques géométriques de l'aérodrome…….47
1. La piste principale 05/23……...47
2. Bretelles D1, E1 et F1……48
3. Bretelle C2 C4……..48
4. Bretelle D3……...48
5. Les bretelles d'accès à la piste 05/23……...48

Chapitre IV Etude géotechnique et auscultation de la chaussée sur la piste d'aérodrome d'Alger

I. Introduction……...50
II. Reconnaissance de site ……50
1. Situation géographique……50
2. Géologie du site ……...51

III. Etude de laboratoire ……52
1. Sondages carottés ……52
2. Les puits de reconnaissance……..56
3. Résultats des d'identification des matériaux…….62
4. Classification selon GTR ……63
IV. Conclusion……64
V. Mesure automatique de la chaussée au Géoradar ……...65
1. Introduction……..65
2. Traitement et interprétation……..65
VI. Relevé visuel des dégradations chaussée……67

Chapitre V Dimensionnement et solutions de renforcement

I. Analyse des résultats de l'essai HWD ……70
II. Dimensionnement de renforcement de piste 05/23……...71
1. Calcul de ACN……..72
2. Calcul de PCN……...73
III. Solution proposée……..79

Conclusion Générale ……80

Liste des figures

Chapitre I Généralité sur les aérodromes et présentation de l'appareil A380

Fig.v.3.a : Schéma de vent traversier....4
Fig.v.3.a : Les différentes distances déclares……..……5
Fig.v.3.e : L'aire de mouvement…….……6
Fig.VI.2.c : les types de chaussées……..8

Fig.VIII.1 : L'A380 comparé à d'autre avions…….……..10

Fig.VIII.3 : livraisons d'A380-800 par année ……...11

Fig.VIII.3 : graphique des livraisons par compagnies …… 12
Fig.II.III.2.a : Principe de la mesure déflectographe Lacroix ……..14
Fig.II.III.2.b Appareil HWD…….16

Fig. II.III.2.b : Bassin de déflexions d'une chaussée souple……16

Fig. II.III.2.b : Différents thermomètre pour enregistrement de la température- à la surface, - à l'air, -à l'intérieur de l'enrobé ……..……17

Fig. II.III.2.b : Schéma de principe de l'APL ……...…… 19

Fig.II.V.1 : Extraction des échantillons carottés ……...……20

Fig. II.V.2 : Géoradar…….……...21

Fig. II.V.3 : Essai CBR (California Bearing ration)……..……23

Fig. II.V.4: -le camion à pénétromètre statique -pénétromètre statique -vue dans le camion...23

Chapitre II Evaluation géotechnique des matériaux corps de chaussée et matériaux de renforcement

Fig.III.2.2 : -a. Grille tissé -b. grille soudée……33

Fig.IV.1 : Ouvertures des faisceaux de fibres de verres……..……34

Chapitre III Présentation de l'aéroport d'Alger

Fig.III.1 photo de satellite de l'aéroport d'Alger……38

Fig.III.2 photo de satellite de la piste principale de l'aéroport d'Alger……..38

Fig.III.II : différents éléments de l'aéroport d'Alger……..……..40

Fig.III.II.1 : les deux pistes de l'aéroport d'Alger…….40

Fig.III.II.1 : Seuil de la piste 05…….42

Fig.III.II.2 : Vue aérienne du Terminal 1…..……43

Fig. III.II.2 : Terminal 2 dédié aux vols internes……44

Fig. III.II.2: vue de la nouvelle aérogare ……...45

Fig. III.II.5 : Plan général de la zone d'intervention ……. 49

Chapitre IV Etude géotechnique et auscultation de la chaussée sur la piste d'aérodrome d'Alger

Fig.IV.II.2 : Extrait de la carte géologique de centre d'Algérie à $1/500000^{eme}$ …...……51

Fig.IV.III.1.1 : Implantation des carottes……...……53

Fig.IV.III.2.1 : Implantation des puits……...……56

Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée 3 mètre à gauche de l'Axe (3G)……65

Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée dans les profils (3D,6D et 20D)……..66

Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée dans les profils (12D et 12G)……..66

Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée dans les profils (6G et 20G)……66

Fig.IV.VI : Remontée d'eau et de fines……67

Fig.IV.VI : Fissures des joints d'épandage longitudinaux et transversaux De grandes ampleurs……67

Fig.IV.VI : Faïençages à maille large et à maille fines…….……68

Fig. IV.VI : désenrobage……...…….. 68

Fig. IV.VI : Départ des matériaux…….68

Fig. IV.VI : Dépôt de gomme……...69

Fig. IV.VI : Réparation ponctuelle dégradée**…….……..**69

Chapitre V Dimensionnement et solutions de renforcement

Fig.V.II.1 : Les caractéristiques de Airbus A380 à partir logiciel ELMOD6…….…..…….72

Fig.V.II.1 : L'ACN de l'avion A380 à partir logiciel ELMOD6……..……73

Fig.V.II.2.C : abaque du coefficient H(CBR)…….……. 77

Liste des tableaux

Chapitre I Généralité sur les aérodromes et présentation de l'appareil A380

Tab.I.III.b : Facteurs f dépendant de la distribution des contraintes……...……18

Chapitre II Evaluation géotechnique des matériaux corps de chaussée et matériaux de renforcement

Tab.II.III.1.1 : Composition du verre standard utilisé dans les fibres de renforcement……31

Chapitre III Présentation de l'aéroport d'Alger

Tab.III.II.2 : Catégories avions et postes avions……...43

Tab. III.II.2 : Correspondance catégorie / type d'avion……..…….43

Tab. III.II.4 : Caractéristiques des postes de stationnement de l'aéroport d'Alger……..46

Chapitre IV Etude géotechnique et auscultation de la chaussée sur la piste d'aérodrome d'Alger

Tab.IV.III.1.1 : Localisation des sondages carottés……...……...52

Tab.IV.III.1.2 : épaisseurs des carottes……...……..55

Tab.IV.III.2.1 : Localisation des puits……...……...56

Tab.IV.III.3 : Les résultats des essais…….……..62

Tab. IV.III.4 : Classification du sol selon GTR……...63

Tab.IV.VI : l'état de la piste…….....69

Chapitre V Dimensionnement et solutions de renforcement

Tab.V.II : caractéristique de l'avion critique Boeing 747-400……...……..71

Tab.V.II : caractéristique de l'Airbus A380……..72

Tab.V.II.2.a : Les coefficients d'équivalences……..……75

Tab. V.II.2.a: Les épaisseurs équivalente …….……...76

Tab. V.II.2.c : Le calcul de trois sections de la chaussée…….....78

Symboles et Abréviations

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

STBA : service technique des bases aériennes

PCI : Pavement Condition Index

IS : indices de service

HWD : Heavy Weight Déflectomètre

IRI : International Roughness Index

BBI : Boeing Bump index

ELMOD : Elévation Layer Moduli Overlay & Design

M.E.T : Method of Equivalent Thicknesses

FEM : Finite Element Method

LET : Linear Elastic Theory

MET : Method of Equivalent Thickness

WESLEA : Water waysexperiment station's

CBR : Californien bearing ratio

GB : Grave Bitume

BB : Béton Bitumineux

GNT : Grave Non Traité

BBME : Béton Bitumineux à module élevé

EME : enrobé à module élevé

RSI : roue simple isolée

RSE : une roue simple équivalente

ACN : Aircraft Classification Number

PCN : Pavement Classification Number

A380 : Airbus 380

TORA : Take-Off run available

TODA : Take-off distance available

ASDA : Accélération-Stop distance available

LDA : Landing distance available

Introduction Générale

Introduction générale

Les aéroports opèrent aujourd'hui dans un environnement hautement concurrentiel et leur performance s'évalue tant par le nombre de passager que la diversité des types d'avion qu'ils peuvent accueillir. En Algérie le transport aérien constitue un instrument privilégié de développement et d'échanges et occupe une place importante dans le système de transport algérien du fait de l'étendue du territoire nationale, et le nombre de voyageurs via les airs qui ne cesse d'augmenter.

Sur la trentaine d'aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique, la prédominance de l'aéroport d'Alger, est très prononcée. Par conséquent la densité du trafic aérien et son durant les années à venir, devrait saturer les installations de cet aéroport.

Afin d'anticiper cette saturation, l'Aéroport International d'Alger s'est doté de nouvelles capacités d'accueil comme un nouveau terminal international d'une capacité de 10 millions de passagers entré mise en service en 2018, entre autres à l'aéroport d'accueillir des gros porteurs d'une toute nouvelle catégorie.

Dans cette gamme de gros porteurs, se distingue l'Airbus A380 ce qui permettra d'acheminer en un seul trajet un plus grand nombre de passagers que n'importe quel autre avion.

L'aéroport d'Alger aujourd'hui ne reçoit pas ce type d'avion, il faut donc renforcer la chaussée de l'aérodrome d'Alger pour accueillir l'Airbus A380, Cette mise à niveau des infrastructures nous a offert la chance d'en participer par le biais de notre projet de fin d'études, aussi bien à la rénovation qu'a l'innovation.

Notre projet de fin d'études s'intitule : Renforcement de la piste principale de l'Aérodrome d'Alger. La présente étude se focalise sur le renforcement des infrastructures de l'aérodrome d'Alger, afin d'aboutir à une solution innovante et économique, qui va nous permettre de lutter contre l'accentuation de la fatigue survenant aux chaussées de l'aérodrome face à l'intensité croissante du trafic d'une part et aux effets climatiques, d'autre part.

La première partie est consacrée à l'étude bibliographique sur les différentes dégradations des chaussées, la deuxième est le partie pratique d'une notre cas (aérodrome d'Alger) qui commence avec auscultation visuelle, et fin on lever un prélèvement au sol support et le carottage dans la chaussée.

En fin, nous calculons le renforcement avec la méthode ACN/PCN et proposer une solution pratique.

Chapitre I :
Généralité
Sur les aérodromes
Et présentation
De l'appareil A380

Chapitre I : Généralité sur les aérodromes et présentation de l'appareil A380

Partie I : Généralité

I. Importance de transport aérien dans le monde : le transport aérien est le plus de tous les moyens de transport. Il est apparu au début du siècle comme une nouvelle technique de transport. Jusqu'en 1914, les applications étaient essentiellement militaires. Les premières lignes régulières de passagers se développèrent entre les deux guerres, mais de manière encore très marginale : chaque appareil ne transportait alors que 10 ou 15 personnes. C'est surtout sous l'effet des progrès nécessités par l'utilisation de l'aviation lors de la Seconde Guerre mondiale que l'avion prit son essor comme moyen de transport civil. Toutefois, son utilisation demeura encore très minoritaire face au transport maritime à très longue distance, ou au train pour les moyennes distances, en raison de la capacité limitée des appareils (quelques dizaines de passagers). Il fallut attendre la fin des années 1950 pour que les avions à réaction Gets) viennent modifier totalement les données du trafic aérien.

Les jets permettent en effet d'opérer un véritable saut technologique, à la fois sur la capacité des appareils et sur la durée des vols. Les premiers avaient ne pouvaient voler qu'à 400 ou 500 km/ h, alors que les avions à réaction volent à 1 000 km/ h. En outre, ils peuvent emporter plusieurs centaines de passagers (plus de 500 pour les plus grands, soit autant qu'un train de grande ligne).

Dans ces conditions, il n'est pas étonnant qu'en moins de dix ans, le transport aérien ait pris le monopole des transports intercontinentaux au détriment des paquebots. C'est aussi le transport aérien qui prend désormais en charge la très grande majorité des liaisons internationales à l'intérieur des continents, et de plus en plus les liaisons domestiques entre grands centres. En Europe, cette prédominance s'opère au détriment du train, mais cette évolution est susceptible d'être remise en cause au fur et à mesure que se met en place le réseau européen de trains à grande vitesse.

On distingue trois types de lignes aériennes. Les vols long-courriers (supérieurs à 8 500 km, soit 4 heures de vol et plus) ne desservent que quelques escales intermédiaires (1, 2 ou 3, parfois aucune). Les vols moyen-courriers (entre 700 et 3 500 km, soit entre 1 et 4 heures de vol), généralement directs, assurent en Europe les liaisons internationales les plus rapides, par-dessus les frontières, les détroits et les mers fermées ; Ce sont Ces vols qui présentent le plus grand intérêt commercial en raison du volume des flux concernés et de l'écrasante supériorité de l'avion sur tous les autres moyens de transport. Les vols Court-courriers, qui n'excèdent pas 1 heure, se placent en concurrence directe du chemin de fer traditionnel. **[1]**

II. Organisation du transport aérien dans le monde :

Même si, dès 1889, des conférences se tiennent autour de la navigation aérienne, la première organisation internationale relative à l'aviation n'est créée qu'en 1947 : il s'agit de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), qui dépend de l'ONU, et dont le siège social se situe à Montréal, Il existe aujourd'hui d'autres organisations internationales comme la Fédération aéronautique internationale (FAI) ou encore l'Association internationale du transport aérien. Cette dernière, dont le siège social se trouve également à Montréal, regroupe à ce jour une centaine de compagnies aériennes ; travaillant en étroite collaboration avec l'OACI, elle s'attelle aux problèmes posés par l'expansion des transports aériens dans le monde. **[1]**

III. Rôle de l'OACI :

Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), institution technique spécialisée des Nations unies, créée en qualité d'organe permanent le 4 avril 1947, dans le but de promouvoir la sécurité et le développement coordonné de l'aviation civile dans le monde entier. L'agence établit des normes et des règlements internationaux en matière de sécurité, d'efficacité et de régularité du transport aérien. Elle sert aussi à favoriser la coopération entre ses membres, dans tous les domaines de l'aviation civile, et à fournir une assistance technique aux pays qui ont besoin d'aide pour assurer la maintenance de leurs installations aéronautiques afin de satisfaire aux normes mondiales qu'elle a fixées. L'OACI réalise également des publications et des études spécifiques. L'agence contribue, en outre, à améliorer les services météorologiques, le contrôle de la circulation aérienne, les communications air-sol, les opérations de recherche et de sauvetage, ainsi qu'à renforcer les mesures destinées à assurer la sécurité des vols internationaux. Elle s'attache également à simplifier les procédures douanières et le contrôle de l'immigration, ainsi que les règlements sanitaires relatifs aux vols internationaux. Elle porte une attention particulière à la lutte contre les détournements d'avions et aux attaques diverses de terroristes tout comme aux effets des nuisances sonores causées par les avions sur l'environnement.

L'OACI se compose de 180 nations membres qui Se réunissent tous les trois ans, lors d'une assemblée. Entre les sessions, son bureau exécutif est constitué par un conseil composé de représentants de 33 nations membres, élus par l'assemblée en fonction de leur degré d'importance au sein du transport aérien international et de leur répartition géographique. Elle possède son propre secrétariat, dirigé par un secrétaire général nommé par le Conseil, et plusieurs comités techniques permanents. Son siège se trouve à Montréal. **[1]**

IV. Définitions :

1) Aérodrome :

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

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

2) Aéroport :

Ensemble d'installations techniques et commerciales destinées à permettre un trafic aérien important, le plus souvent international. Le terme d'aéroport est souvent employé à la place de celui d'aérodrome. **[1]**

V. Les grands constituants d'un aérodrome :

1) Les installations :

Ensemble des bâtiments, aménagements et équipements nécessaires au service des avions et de leurs cargaisons :

Entretien et ravitaillement des aéronefs, commandement et exploitation des aérodromes, réalisation des opérations commerciales.

2) Les dégagements :

Partie de l'espace aérien contiguë à l'aérodrome pour assurer la sécurité des manœuvres aériennes, il est nécessaire de respecter un certain nombre de conditions qui se traduisent parfois par des servitudes.

3) L'aire de mouvement :

Appelée parfois plateforme, elle est destinée aux manœuvres (atterrissage, décollage et évolution au sol) des aéronefs à la surface. Les éléments de l'aire de mouvement sont :

- Les directions d'envol.
- Les pistes d'envol.
- Les bandes d'envol.
- Les voies de circulation.
- Les aires.

Nous définissons ci-après chaque élément séparément :

a) Les directions d'envol :

Une direction d'envol et la direction de vent dominant sur l'environnement de l'aérodrome, cette direction est caractérisée par le coefficient d'utilisation:

Le vent dominant :

Dans la conception des aérodromes, on tient énormément compte des vents, car les pistes seront orientées dans la direction des vents dominants lorsque ceux-ci soufflent d'une manière régulière et dans une direction donnée. Cette orientation devra aussi éviter tous les obstacles et nuisance au voisinage de l'aérodrome.

Coefficient d'utilisation de la piste :

C'est un pourcentage de temps pendant lequel l'utilisation d'une piste ou d'un réseau de pistes n'est pas restreinte du fait de la composante du vent traversier.

Le calcul du coefficient d'utilisation d'une direction se passe par la force du vent pour une durée de cinq années à raison de huit observations par jour, soit toutes les trois heures. La direction du vent est relevée suivant seize directions. Lorsqu'on étudie la possibilité d'établir un aérodrome de catégorie donnée sur un site, le premier problème qui se pose est de déterminer la direction d i envol, tel que le coefficient d'utilisation de la piste orientée, suivent cette direction, soit supérieure au minimum fixé.

Les vents traversiers :

Les vents traversiers sont la composante des vents perpendiculaires à la piste.

L'atterrissage par vent de travers est une opération assez délicate qui dépend des caractéristiques de l'avion.

Il existe donc un lien direct entre les caractéristiques d'un avion et celles de l'aérodrome.

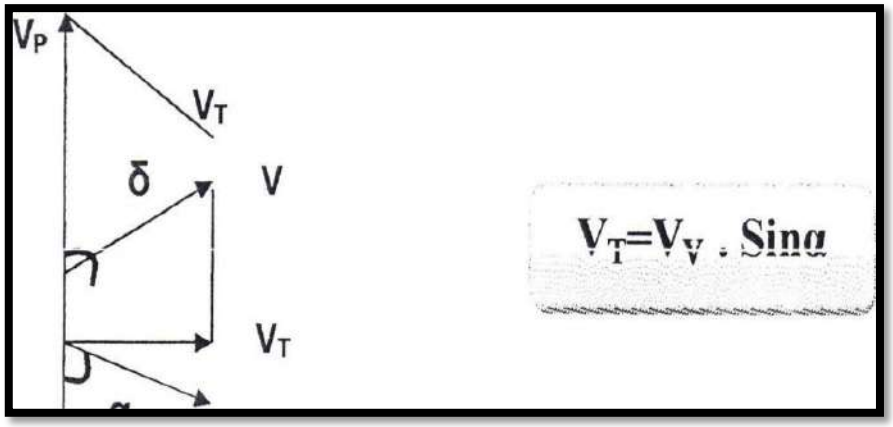


Fig.V.3.a : Schéma de vent traversier

Pour chaque classe d'aérodrome on adopte une force du vent traversier admissible exprimée en m/s sous la forme VT=Vv Sinα

b) Les piste d'envol :

Une piste d'envol est une surface spécialement aménagée pour la construction d'une chaussée, pour permettre l'atterrissage et le décollage des avions. On distingue deux types de pistes.

-Les pistes principales : Sont les plus longues, correspondant au meilleur dégagement et aux directions d'envol donnant les plus grands coefficients d'utilisation

-Les pistes secondaires : Elles sont utilisées lorsque la direction du vent ne peut pas permettre l'utilisation de la piste principale.

Les différentes distances déclarent :

Afin d'informer les utilisateurs d'un aérodrome sur l'existence de seuils décales, de prolongements d'arrêt et de prolongements dégages, quatre « distances déclarées » sont publiées pour chaque sens d'utilisation de chacune des pistes de cet aérodrome.

- **TORA** - Take-Off run available

Longueur de piste déclarée utilisable par l'autorité appropriée, et adaptée au roulage au sol de l'avion en phase de roulage.

- **TODA** - Take-off distance available

Longueur de roulement au décollage utilisable, à laquelle s'ajoute éventuellement le prolongement dégagé.

- **ASDA** - Accélération-Stop distance available

Longueur de roulement au décollage utilisable, à laquelle s'ajoute éventuellement le prolongement arrêt, lors d'une accélération-arrêt

- **LDA** - Landing distance available

Longueur de piste déclarée utilisable par l'autorité appropriée, et adaptée au roulage au sol de l'avion lors de l'atterrissage.

La longueur de piste qui est déclarée pour le calcul de TODA, ASDA et TORA, ne prend pas en compte l'alignement de l'avion sur la piste en service dans le sens du décollage. Cette distance d'alignement dépend de la géométrie de l'avion et de la possibilité d'accès sur la piste en service. Une prise en compte est généralement exigée pour une entrée sur la piste à 90° à partir du taxiway et pour un demi-tour de 180° sur la piste.

Il y a deux distances à considérer :

La distance minimale L entre les roues principales et le début de la piste pour déterminer TODA et TORA

La distance minimale N entre les roues les plus avant et le début de la piste pour déterminer ASDA.

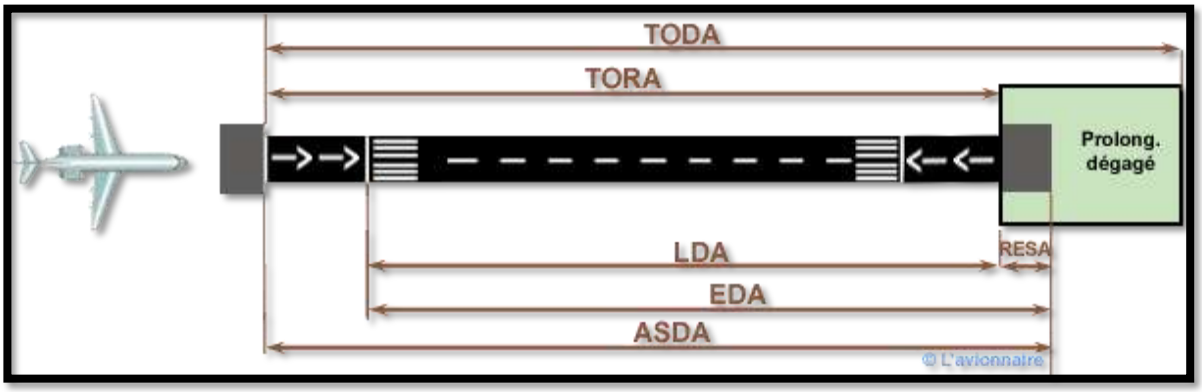


Fig.V.3.a : Les différentes distances déclares

c) Les bondes d'envol :

La bande est le rectangle concentrique a la piste Sa longueur se détermine à partir de la longueur de la piste en ajoutant :

- 60m pour les catégories A et B

-50m pour la catégorie C

-30m pour la catégorie D

La largeur de ces bandes est fonction des conditions normales d'utilisation (piste à vue ou piste aux instruments).

d) Les voies de circulation :

Les voies de circulation sont des éléments qui relient la piste aux aires sur quelles se fait le trafic des aéronefs. On désigne assez fréquemment ces voies par le terme anglais de Taxiway

e) Les aires :

On distingue deux catégories d'aires : les aires de stationnement et les aires d'attentes.

- **Les aires de stationnement :**

Les aires de stationnement sont des parties de la surface de l'aérodrome sur lesquelles les aéronefs peuvent séjourner. Selon l'objet de ce séjour on distingue.

- Les aires de trafic : réservées aux opérations commerciales (transbordement, débarquement, embarquement de passagers, poste ou fret) de soutage et d'avitaillement et aux menues réparations de courte durée (1 h au maximum).
- Les aires de garage : où les aéronefs sont parques pendant les périodes ou ils ne sont pas utilisés commercialement, ni soumis a des opérations d'entretien**.**
- Les aires d'entretien : où s'effectuent l'entretien et les réparations (périodiques ou accidentelles) des moteurs et des cellules.

- **Les aires d'attentes :**

Les aires d'attentes sont des emplacements spécialement aménagés les prés possibles des extrémités de piste où les aéronefs effectuent des essais moteur où « point fixe » et attendent de la tour de contrôle l'autorisation de décoller. Elles sont raccordées d'un coté à la piste et de l'autre à la bretelle d'accès. **[1]**

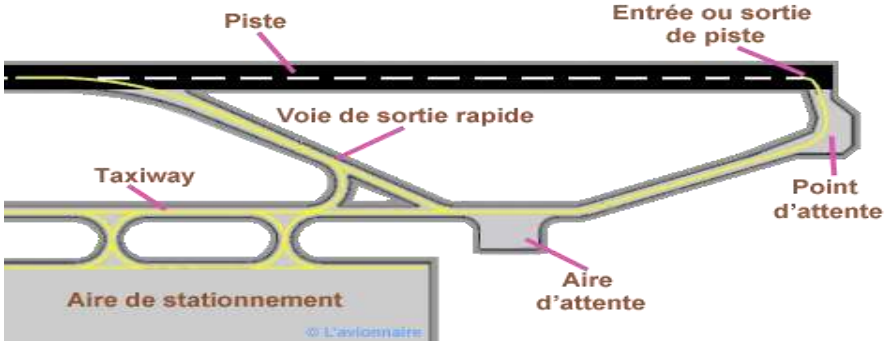


Fig.V.3.e : L'aire de mouvement

VI. Destination des aérodromes :

On peut, suivant leur destination, classer les divers aérodromes intéressant les Services des Bases Aériennes en trois catégories :

- Les aérodromes civils utilisés pour les activités de transport, de travail aérien ou pour le tourisme et l'entraînement. Les aérodromes civils destinés au transport aérien sont dénommés aéroports ;
- Les aérodromes militaires, sièges d'escadrilles opérationnelles ou destinés à recueillir, le cas échéant, des unités et qui, par conséquent, ne sont pas utilisés en permanence ;
- Les aérodromes techniques qui peuvent être accolés à des usines et sont utilisés par des avions qui viennent d'être construits ou révisés, ou être des aérodromes d'essais sur lesquels se rendront les aéronefs pour effectuer leurs essais.

1. Classification des aérodromes :

L'OACI propose une classification et identification des aérodromes civils Baser 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

2. Type des chaussées :

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

a) Chaussées souples :

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

-L'intérêt économique certain qu'elles présentent pour des sols supports de bonne qualité, pour les prolongements et abords de piste et pour les infrastructures dédiées à l'aviation légère, compte tenu des épaisseurs de chaussée relativement faibles correspondant a ces différents cas.

-L'aptitude qu'elles ont à se prêter aux phasages de réalisation.

b) Chaussée semi-rigide :

On distingue :

-Les chaussées comportant une couche de base (et quelque fois une Couche de fondation) traitée aux liants hydrauliques (ciment, laitier granule...).

-Les chaussées comportant une couche de base et/ou une couche de fondation en sable gypseux on les rencontre fréquemment dans les régions arides.

c) Chaussée rigide :

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

-L'avantage technico-économique qu'elles présentent pour des sols support de qualité médiocre.

-Leur adéquation aux aires de stationnement soumises à d'importants efforts de poinçonnement ainsi qu'à de fréquents déversements d'hydrocarbures, de même qu'aux extrémités de piste d'où décollent certains types d'avions militaires dont l'inclinaison des Réacteurs entraîne des effets thermiques dévastateurs importants.

-Assure ; la continuité de l'appui des dalles au droit des joints.

-contribuer contre ! e gel du sol support et de s'opposer à la montée des fines pour pompage au droit des joints. **[1]**

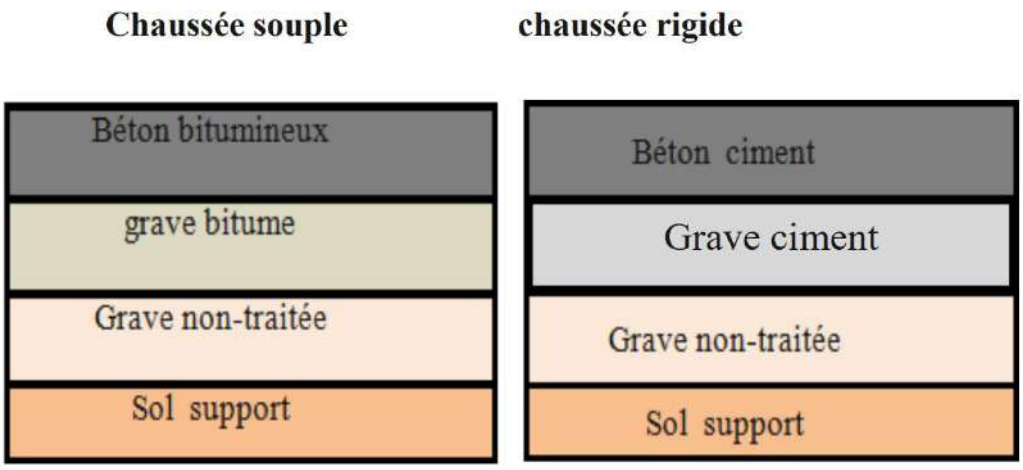


Fig.VI.2.c : les types de chaussées

VII. ACN / PCN :

La méthode ACN/PCN est un système international normalisé élaboré par l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale (OACI) qui vise à fournir des renseignements sur la résistance des chaussées aéronautiques et qui permet de ce fait de juger de l'admissibilité de chaque aéronef en fonction de sa charge et de la résistance des chaussées. Cette méthode est applicable depuis 1983 par l'ensemble des états membres de l'OACI.

- **Le PCN** : Pavement classification Numbers

Le principe de cette méthode est relativement simple puisque l'on associe à chaque zone homogène – section de chaussée dont les caractéristiques techniques sont identiques ou du moins suffisamment proches pour être assimilées - d'une plate-forme un PCN qui reflète la

capacité portante de la chaussée. Cette information est publiée de la manière suivante conformément aux spécifications de l'Annexe 14 de l'OACI :
PCN = 27 /F /A /W /T

Le nombre est le numéro de classification de chaussée arrondi à un nombre entier. La première lettre correspond à la nature de la chaussée :

- F : pour les chaussées souples (Flexible en anglais), c'est à dire composées essentiellement d'enrobés bitumineux ;
- R : pour les chaussées rigides composées essentiellement de béton de ciment.

Pour les chausses atypiques composées à la fois de béton de ciment et denrobés bitumineux, on utilise la publication qui correspond le mieux au comportement mécanique de la chaussée.

La deuxième lettre désigne la catégorie de résistance du sol support soit encore le sol « naturel » sous la chaussée :

- A : résistance élevée ;
- B : résistance moyenne ;
- C : résistance faible ;
- D : résistance ultra faible.

La troisième lettre fait référence à la limite de pression de gonflage des pneumatiques :

- X : 1,5 MPa ;
- Y : 1 MPa ; • Z : 0,5 MPa.
- W : pas de limite

o **ACN (Aircraft Classification Numbers) :**
Nombre exprimant l'effet relatif d'un avion sur une chaussée pour une catégorie spécifiée de sol support. La détermination des ACN obéit à un calcul normalisé par l'OACI. **[1]**

VIII. Présentation de l'appareil A380 :

1) Description de l'appareil :

L'airbus A380 est un avion de ligne civil très gros-porteur long-courrier quadriréacteur à double pont produit par airbus, ses éléments sont construits principalement en France, Allemagne, Espagne, et Royaume-Uni, mais aussi par de plus petits pays tels la Belgique, le principal parmi ces derniers ; l'assemblage final est réalisé à Toulouse, en France.

Le programme A380, d'un cout total de développement de 12 milliards d'euros, a été lancé au milieu des années 1990 sous le nom d'airbus A3XX. Le premier vol a eu lieu

le 27 avril 2005 à l'aéroport de Toulouse et le premier service commerciale s'est déroulé le 25 octobre 2007 par Singapore Airlines entre Singapore et Sydney. En mars 2013, le 100e A380 est livré à la compagnie Malaysia Airlines.

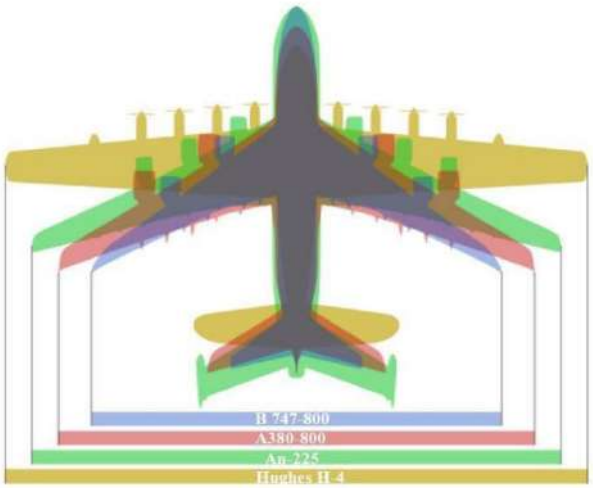


Fig.VIII.1 : L'A380 comparé à d'autre avions.

L'A380 est en 2013, le plus gros avion civil de transport de passagers en service et le troisième plus gros avion de l'histoire de l'aéronautique, après le Hughes H-4 Hercules et l'Antonov An-255. Le pont supérieur de l'A380 s'étend sur toute la longueur du fuselage, ce qui donne à la cabine 50 % de surface de plus celle de son concurrent direct, le Boeing 747-400.

L'A380-800 a un rayon d'action de 15700 kilomètres, ce qui lui permet de voler New York jusqu'à Hong Kong sans escale, à la vitesse de 1040 km/h (Mach 0,85) jusqu'à 1090 km/h (mach 0,89).

Long de 73 m pour une envergure de 79,75m, l'380-800 peut emporter 525 passagers selon la configuration standard (3 classes) choisie par la compagnie sur une distance maximale de 15700 km. L'objet est permettre aux compagnies aériennes de substituer sur certaines lignes une seule rotation à deux rotations assurées notamment par Boeing 777. Cependant, la plupart des compagnies clientes ont préférer diminuer ce nombre de passagers au profit du confort.

En version charter (une classe), l'appareil peut emporter jusqu'à 853 passagers et 20 membres d'équipage.

On peut prendre comme exemple la compagnie Emirates qui offre trois configurations : une de 489 places (14,76 et 399), la seconde de 517 passagers et la troisième avec 604 sièges. **[2]**

2) Importance de l'appareil A380 :

- **La solution aux compagnies :**

  L'arrivée de ce nouvel avion, qui peut transporter 35% de passagers de plus que ses concurrents, permet d'optimiser les capacités aéroportuaires.

  Dans ce contexte, l'A380 est la solution apportée aux compagnies dans le monde pour répondre aux besoins du marché actuels et futurs. Les 525 places de cet appareil le doteront d'une capacité supplémentaire vitale lui permettant

de contribuera à limiter l'encombrement de l'espace aérien en transportant d'avantage de passagers sans augmenter le nombre de mouvements d'appareils.

L'A380 fournira aux compagnies la souplesse opérationnelle dont elles ont besoin pour mieux répondre à la demande croissante du transport aérien, tout en les aidant à rester rentables sur un marché toujours plus concurrentiel.

L'A380 établira de nouveaux standards de rentabilité.

- **Des couts d'exploitation unitaires inférieurs de 20% :**

  Malgré sa taille imposante, L'A380 consomme moins de trois litres aux 100klm par passager, grâce à la performance de ses quatre réacteurs et aux innovations technologiques apportées à sa conception contribuant à alléger sa masse et à améliorer son efficacité aérodynamique. Cela représente une réduction, par passager, de 20% de consommation de carburant par rapport à l'A330. **[3]**

- **Des couts de maintenance réduits de 20 à 25% :**

  Les innovations dans les matériaux constituant le fuselage de l'avion ont également l'avantage de réduire de 20 à 25 % les couts de maintenance et de réparation, qui au total représentent 15 à 20 % des couts directs d'exploitation de l'appareil. **[3]**

- **Un avion plus respectueux de l'environnement :**

  Avec moins de 75 grammes de CO_2 produits par passager au kilomètre, l'A380 est un des avions les plus respectueux de l'environnement. En consommant moins, l'A380 rejette également moins de CO_2 par passager que n'importe quel autre avion. **[3]**

3) Les compagnies disposant A380 :

Seize compagnies aériennes et un loueur ont choisi l'Airbus A380, soit de 331 commandes fermes et un volume de 227 livraisons effectives. Toutes les commandes concernent la version passagers A380-800.

La production actuelle est principalement consacrée à Emirates, qui a fait office de client de référence pour l'A380 avec son nouveau hub grandiose de Dubaï inauguré en janvier 2013. Treize compagnies aériennes proposent désormais des vols commerciaux en A380 sur les cinq continents. **[4]**

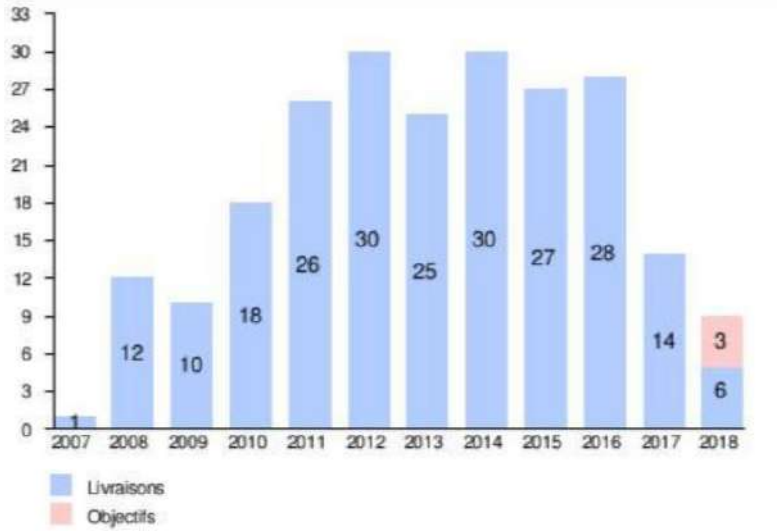


Fig.VII.3 : livraisons d'A380-800 par année. [5]

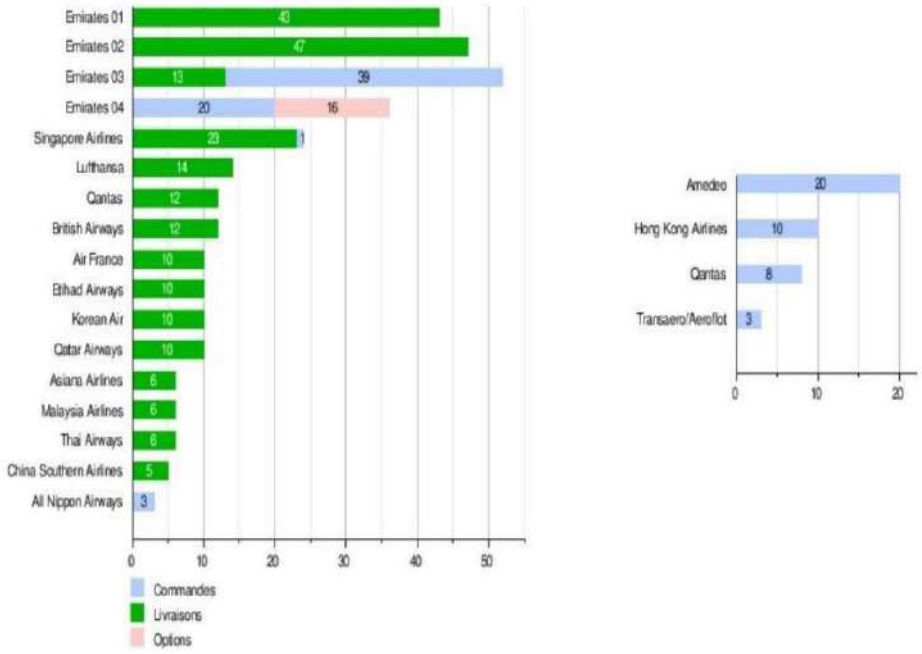


Fig.VIII.3 : graphique des livraisons par compagnies. [5]

Partie II : Auscultation des chaussées essais géotechniques :

I. Principe de la méthode d'auscultation des chaussées :

L'auscultation des chaussées en vue de leur renforcement se rattachent aux trois types suivants :

- Auscultation non destructive de certains paramètres du comportement mécanique (déflexion, rayon de courbure de la déflexion, propagation d'ondes, etc.…), dont la forme réside dans l'utilisation de la déflexion pour calculer l'épaisseur de renforcement à l'aide de diverses formules expérimentales ou théorique ;

  Avantage : très rapide et peu couteux ;

  Inconvénient : la liaison entre la déflexion et l'état de dégradation de la chaussée est de nature globale et statistiques.
- Observation de l'état de surface de la chaussée (appréciation de la qualité de surface par référence aux dégradations des chaussées souples, mesure d'uni, etc.)
- Observations internes : sondages et carottages, appréciation du sol support, etc.) ;

  De même, il faut toujours poser la question du but recherché par le renforcement : s'agit-il d'une chaussée à la fin de sa vie (renforcement curatif) ou d'une chaussée encore en bon état mais sur laquelle on prévoit un très fort trafic auquel elle ne saurait résister (renforcement préventif). **[6, 7]**

II. Mesure de la déformabilité de surface :

Une charge mobile induit à la surface d'une chaussée un bassin de déflexion. La surface de cette zone et sa profondeur (amplitude) sont en fonctions du type et de l'état de la structure ainsi que de la valeur de la charge. La mesure de déformabilité de surface

consiste à fixer ou à poser, au point de la chaussée où on veut faire l'essai, un capteur permettant de mesurer le déplacement vertical. On approche progressivement une charge roulante, qui, à un moment donné, passe sur celui-ci, puis s'en éloigne. Les variations de la déformation verticale de la chaussée en fonction de la distance qui sépare le point de mesure et le point d'application de la charge constituent la ligne d'influence qui est mesurée par le capteur. **[8, 9]**

III. Portance : Déflexion du revêtement au passage d'un essieu

1. Les déflexions :

Une déflexion est par définition une modification progressive de position ou d'une trajectoire sous l'effet d'un phénomène physique. En mécanique des structures, une déflexion est le déplacement obtenu en un point d'un corps sous l'effet d'un chargement statique ou dynamique.

Sous l'effet de la charge verticale exercée par le déflectomètre, la déflexion est exprimée en micron de mètre. La déflexion donne une indication sur la portance et la rigidité globale de la chaussée.

L'amplitude de la déflexion est intimement liée aux propriétés et dimensions du corps de chaussée. **[7, 11, 12, 13]**

Les facteurs qui influent sur la variation des déflexions sont **[7, 11, 12, 13]** :

- Le premier facteur est la charge ;
- Le second facteur est l'épaisseur de chaussée ou plus précisément l'épaisseur des couches de chaussée ;
- Le troisième est la valeur des modules du sol et diverses couches de la chaussée.

2. Appareils de mesure de la portance d'une chaussée :

La portance d'une chaussée est mesurée avec les appareils suivants **[10, 7, 11, 12, 14, 13]** :

- Le Curviamètre ;
- Poutre de Benkelman (BLI)
- Le déflectographe LACROIX.
- Le déflectographe à masse tombante (HWD)

Ces appareils mesurent en commun la déflexion d'une chaussée souple, les deux derniers appareils permettent un meilleur rendement et fournissent une information plus complète sur l'état structurel avec une exploitation des résultats plus poussés.

- **Curviamètre :** Le but de l'essai est d'évaluer la portance résiduelle à partir des mesures de la déflexion et du rayon de courbure.
- **Poutre de Benkelman (BLI) :** Le but de l'essai est la mesure de la déflexion et éventuellement l'évaluation du rayon de courbure. Le produit des deux grandeurs rayon de courbure et déflexion permet de caractériser la rigidité relative du corps de chaussée par rapport au sol support de fondation. Il intervient, de ce fait, comme critère de décision pour le choix de l'épaisseur de renforcement des chaussées souples.

a) Déflectographe LACROIX :

Evaluer la portance résiduelle d'une chaussée souple en vue de déterminer sa durée de vie résiduelle et d'en calculer son redimensionnement éventuel.

- **Principe de la méthode :**

Appareil roulant à (3 ± 1) km/h et mesurant, à intervalles réguliers (par pas de 3,7 m), la déflexion et le rayon de courbure de la chaussée. La mesure se fait à l'aide d'une poutre de mesure en forme d'un T munie de capteurs et placée sous l'essieu arrière.
La ligne d'influence d'une charge mobile est déterminée via la mesure de la déflexion d'une chaussée souple soumise à la charge d'un essieu standard de 13 tonnes. Les extrémités du traîneau de mesure (poutre) constituant un triangle de référence.
La déflexion du revêtement est égale au déplacement vertical du palpeur placé sur le bras de mesure lorsqu'il est au droit de la charge. Les déflexions sont mesurées en continu sur une distance de 1,70 m par pas de 3,70 m. **[15, 16]**

- **Appareillage et description du matériel :**

Le déflectographe LACROIX est composé **[15, 16]** :

- D'un camion à deux essieux avec l'essieu arrière chargé à 13t (en Algérie) ;
- D'un appareillage de mesure fixé sous le véhicule et comprenant :
  - Une poutre de référence en forme de T ;
  - Deux bras palpeurs ;
  - Le système de traction et de guidage ;
  - Le dispositif électronique de transformation des signaux et d'enregistrement ;

L'appareil de mesure est monté sous un camion dont la charge d'essieu arrière, simple à roues jumelées, peut être ajustée grâce au remplissage d'un réservoir à eau. La pression de gonflage des pneus arrière est de 7,36 bars.

- **Principe de mesure :**

Le principe de mesure est schématisé dans la figure :

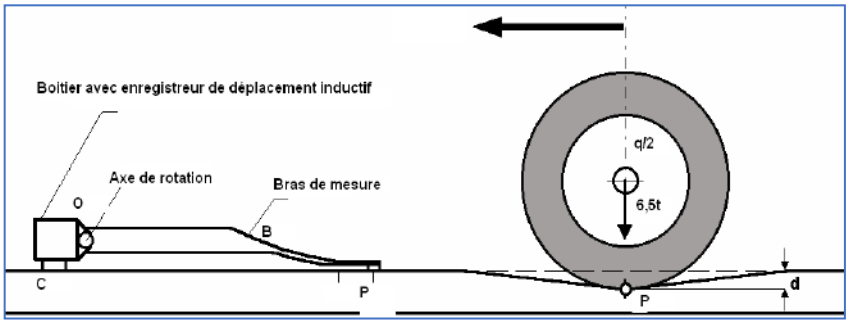


Fig.II.III.2.a : Principe de la mesure déflectographe Lacroix[15, 16].

La déformation verticale de la chaussée en un point P sous l'influence de la charge se traduit par un déplacement vertical de l'extrémité de chacun des deux bras palpeurs : rotation du bras B autour d'un axe fixe (O).

Chaque bras est lié à l'ensemble de référence constitué par la poutre en forme de T.

La déflexion *d* est une fonction de la charge appliquée *q*. $d=f(q)$ q=13t en Algérie (soit 6,5t par jumelage);

Chaque palpeur (C) transforme le mouvement mécanique engendré par le déplacement vertical du bras en un signal électronique proportionnel.

Le cycle de fonctionnement de l'appareil se décompose en deux parties :

- Rappel de la poutre en butée avant, positionnement pour la mesure suivante : la distance bras palpeur-jumelage arrière est maximale ;
- La mesure proprement dite : l'appareillage est désolidarisé du véhicule qui avance jusqu'à ce que l'extrémité du bras palpeur soit engagée sous le jumelage jusqu'au voisinage de la verticale de l'essieu (2,5cm après la verticale), zone où la déflexion maximale (d) est normalement enregistrée. **[16]**

- **Exploitation des résultats :**

La déflexion est exprimée en centièmes de mm, la précision des mesures étant de ± 0,05 mm

La portance résiduelle d'une section de chaussée souple auscultée à l'aide du déflectographe Lacroix est celle de la frayée la plus déformable de toute la section et est caractérisée par **[15, 7, 16, 11, 12]** :

- *d*, la déflexion moyenne de 5 valeurs consécutives (sur une distance d'environ 20 m) ;
- d_m, la déflexion moyenne de 55 – 35 valeurs consécutives (sur une distance d'environ 200–130m) ;
- d_c, la déflexion caractéristique ($d_c = d_m + 2\,\sigma$) des mêmes 55 – 35 déflexions consécutives (σ étant l'écart type de ces valeurs).

a. Exploitation manuelle : elle consiste, à partir du film, à classer les valeurs de déflexions dans les classes de 252/100 de millimètre, puis à calculer la moyenne générale et l'écart-type. Ce classement se fait, par tronçons. On analyse à l'intérieur de chaque tronçon les valeurs de déflexion supérieures à la limite admissible.

b. Exploitation automatique : réalisée à partir du système d'enregistrement magnétique dont est équipé le déflectographe Lacroix ;

La courbe $m+2\sigma$ (moyenne + 2 écarts-types) est présentée sous forme de moyenne glissante sur un tronçon par pas ;

b) Déflectomètre a masse tombante HWD :

- **Présentation, intérêt et principe de mesure :**

L'appareil HWD (Heavy Weight Deflectometer) est équipé de 9 à 15 géophones mesurant le bassin de déflexions, un capteur de force relevant la charge sous la plaque et des poids qui permettent, en changeant la hauteur de chute, d'atteindre une charge variant de 7 à 120 kN (HWD) ou de 30 à 240 kN.

Le HWD est conçu pour mesurer le bassin des déflexions provoqué par une masse tombante appliquée sur une plaque (de diamètre 30 cm). Il se compose d'une remorque tractée de 850 kg environ transportant les éléments de mise en charge et les neuf géophones et d'un système de pilotage automatique, d'acquisition et de traitement de l'information, embarqué dans le véhicule tracteur. Après la mise en station de la remorque au droit du point de mesure, la masse est libérée d'une hauteur pouvant varier de 2 à 40 cm provoquant une force variable de 7 à 120 KN. La hauteur de chute et la force appliquée sont fixées en fonction de la nature de la structure testée. **[17, 18, 19, 20]**



Fig. II.III.2.b : Appareil HWD

Le but étant de mesurer en vraie grandeur les réponses de la chaussée pour laquelle il faut donner un avis pertinent concernant d'une part son état "structurel" actuel et, d'autre part, sa capacité à supporter correctement le trafic futur.

Le HWD simule le passage d'un poids lourd, circulant à 70 km/h et enregistre la déformée induite.

Cet essai permet d'estimer la vie résiduelle de la structure et les épaisseurs de renforcement éventuellement nécessaires. **[18, 19, 20]**

- **Les mesures avec le HWD :**

Au droit de chaque station, 9 déflexions sont enregistrées par les 9 capteurs répartis le long d'une poutre. Le premier capteur est situé au centre de la plaque de chargement, et le dernier à 1,80 m environ dans l'axe longitudinal et dans le sens des mesures. L'opérateur, qui contrôle tous les éléments sur l'écran de l'ordinateur de bord, fait exécuter au moins deux fois l'essai avant de valider la mesure. **[18, 21, 19, 20]**

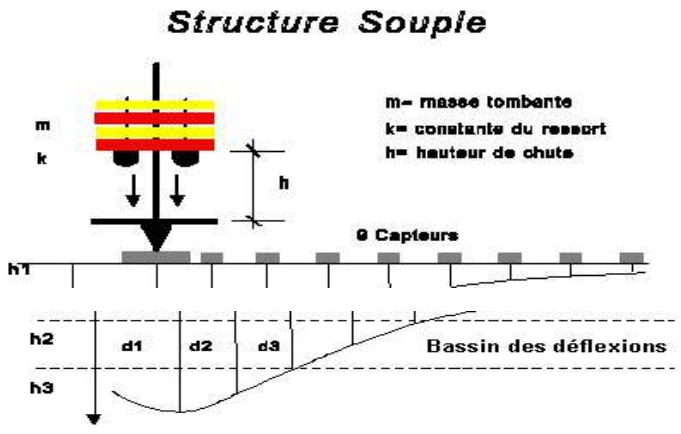


Fig. II.III.2.b : Bassin de déflexions d'une chaussée souple



Fig. II.III.2.b : Différents thermomètre pour enregistrement de la température a. à la surface, b. à l'air, c. à l'intérieur de l'enrobé

- **Exploitation des mesure HWD :**

Cet appareil est exploité avec succès depuis 1992 sur tous les types de structures routières dans le monde. Il sert actuellement de fil conducteur d'une part à l'établissement des futures normes européennes valables pour le dimensionnement "dynamique" des structures routières. **[18, 19, 22, 20]**

Cette catégorie d'appareil est conçue pour exploiter :

- Analytiquement l'entier de la déformée (9 déflexions sur 1,80 m de longueur) mesurée au droit de chaque station de mesure ;
- Il est possible d'exploiter la déflexion maximale seule, transformée en "standard" Benkelman ou Lacroix.
- Si les données de la superstructure le permettent (épaisseurs connues des bétons bitumineux, dans le profil en long et en travers), la durée de vie résiduelle de la chaussée testée peut être calculée : en termes de cm de renforcement nécessaire ou de nombre d'années disponibles sans renforcement.

- **Exploitation des résultats par logiciel de calcul ELMOD :**

Le programme ELMOD (**E**valuation of **L**ayer **M**oduli and **O**verlay **D**esign**)** permet le traitement des données par la méthode de calcul inverse (back calculation) et fournit tous les résultats conduisant à l'évaluation de la durée de vie. **[23]**

- **Calcul du module à la surface :**

La déflexion en surface à une distance radiale r(d_r) est donnée par l'équation suivante **[18, 22, 23]** :

$$D_{(r)} = \frac{(1-\upsilon^2)Q}{\pi r E}$$

où Q est la charge, υ le coefficient de Poisson et *E* le module d'Young.

Le module d'Young est défini pour un matériau parfaitement élastique, comme étant la pente de la relation linéaire entre la contrainte axiale et la déformation axiale ($E = \sigma_{axiale}/\varepsilon_{axiale}$).

Au centre de la plaque, r/a = 0, alors la déflexion verticale est exprimée par :

$$D_{(0)} = \frac{2(1-\upsilon^2)Q}{\pi a E}$$

Au bord de la plaque, r/a = 1 et l'intégrale de l'équation de $D_{(0)}$ est égal à 1. Johnson (1985) donne également la solution exacte de la déflexion verticale pour une distance r/a supérieure à 1. Au-delà d'une distance r/a supérieure à 2, l'influence de la plaque devient négligeable, et la déflexion équivaut à celle d'une charge ponctuelle.

Par conséquent, il est possible de calculer, à l'aide des équations précédentes, le module d'Young du milieu semi-infini homogène et isotrope puisque la déflexion à une distance radiale est mesurée par le HWD.

On définit alors le module de Boussinesq ou module de surface comme étant celui donné par ces deux équations.

Le module d'un espace de moitié semi-infinie peut être calculé à partir :

$$E = \frac{f(1-v^2)\sigma_0 a}{d_0}$$

où d_0 est la déflexion au centre de la charge circulaire et f est un facteur qui dépend de la distribution des contraintes:

Tab.II.III.B : Facteurs f dépendant de la distribution des contraintes

Distribution de la charge (Stress distribution)	F
Uniforme	2
Plaque rigide	π/2
Parabolique, granulaire	8/3
Cohésives, parabolique	4/3

IV. Mesure d'uni longitudinal :

1. Essai APL (Analyseur de Profil en long) :

Les mesures d'uni représentent les irrégularités de surface de la chaussée (profil en long) de l'ordre de 1 cm (en moyenne). L'uni caractérise le niveau de confort de chaussée (effet de bruit, adhésion, …), il est mesuré, entre autres par l'analyseur du profil en long APL 25 qui délivre un (coefficient) tous les 25 m appelé CAPL25. **[24, 25, 26]**

A. Caractéristiques recherchées :

- Relevé des irrégularités du profil en long.
- Coefficients de planéité longitudinale.

B. Principe de l'essai :

L'APL 25 détecte des défauts d'uni dans une fourchette de longueur d'onde comprise entre 0,5 et 15 m. La vitesse de mesure est de l'ordre de 22 km/h.

Le système APL permet la mesure en continu de l'uni longitudinal des chaussées routières quelles que soient la structure de la chaussée et la nature de son revêtement.

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

Le capteur est constitué d'une remorque reliée à un véhicule tracteur par l'intermédiaire d'une articulation à cardans. Les défauts d'uni du profil sont traduits en signaux électriques par une double transformation.

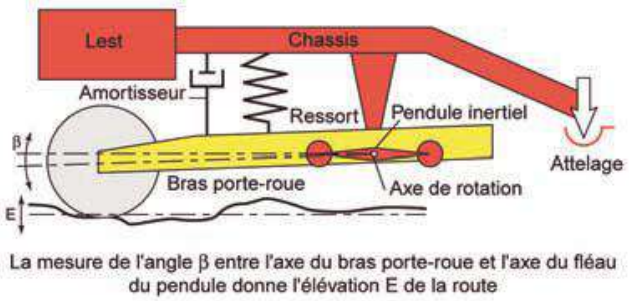


Fig.II.IV.1.B : Schéma de principe de l'APL

2. Essai profilomètre inertiel laser RSP :

Le profilomètre de surface de route RSP (Road Surface Profilomètre) est un véhicule de mesure pour le contrôle des différentes caractéristiques des surfaces de chaussées, par une méthode non destructive et sans interruption du trafic (jusqu'à environ 100 km/h). Valable pour le relevé systématique et l'évaluation.

Le profilomètre de surface de route (RSP) est conçu pour fournir des mesures automatisées de rugosité de la chaussée.

Le RSP mesure des élévations de profil longitudinal, indice de rugosité International IRI (International Roughness Index), nombre de Ride (RN) et (optionnellement) texture de macro, données GPS et la journalisation de Photo numérique. **[27, 28, 29, 30, 31]**

A. Principe de l'essai :

- La mesure du profil longitudinal est basée sur la méthode de « south dakota ».
- Un accéléromètre est utilisé pour obtenir le mouvement du corps véhicule vertical et un capteur laser est utilisé pour mesurer le déplacement entre la carrosserie du véhicule et la chaussée.
- Les mesures de profil de route sont obtenues en additionnant le mouvement du corps avec les déplacements routiers organisme approprié.
- L'indice IRI est calculé conformément aux spécifications de la banque mondiale.

B. Exploitation des résultats :

La durée consacrée pour l'exploitation des résultats d'une journée de mesure est de 01 à 03 jours de travail de bureau. Les résultats sont saisis sur un support informatique permettant un travail complémentaire ultérieur.

- **Indice de rugosité international IRI (International Roughness Index) : [28, 33, 32]**

L'indice de rugosité international (IRI) a été développé par la Banque mondiale dans les années 1980 (UMTRI, 1998). Il est utilisé pour définir une caractéristique du profil longitudinal d'une chaussée fréquentée et constitue une mesure de rugosité normalisée qui sert à calculer les débattements, en mètres, subits par la suspension d'une voiture lorsqu'elle parcourt un kilomètre à une vitesse de 80km/h.

V. Essais de détection des épaisseurs des chaussées et plateforme support :

1. Essai de carottage :

Les carottages sont des essais destructifs très riches en information sur l'état des couches traitées aux liants bitumineux des chaussées. Ils renseignent tant sur l'épaisseur et l'état des couches traitées que sur celui des interfaces ou des fissures. **[34]**

1.1. Principe de l'essai :

Le carottage est un essai qui consiste à découper et à extraire d'une chaussée un échantillon cylindrique, appelé carotte. L'observateur visuel de la carotte, et de la paroi de la cavité ainsi pratiquée dans la chaussée, permet de connaitre la nature de l'état des matériaux. On déduit notamment de cet essai les caractéristiques suivantes **[34, 35]** :

- Pour chaque couche de matériaux, l'épaisseur, l'état du matériau, et si une fissure traverse la carotte, l'état de la fissure ;
- Pour chaque interface, l'état de l'interface.

Les couches et interfaces sont numérotées en ordre croissant du haut vers le bas.

Le carottage est effectué perpendiculairement à la chaussée. En pratique, l'inclinaison par rapport à cette perpendiculaire doit être inférieure à 10°. Le matériel est mis en œuvre avec un carottier adapté au matériau à carotter. La poussée verticale sur l'outil, la vitesse de rotation et le débit d'eau seront choisis en fonction de ce carottier, et de l'état de cohésion des couches à traverser.

L'observation porte, selon les modes opératoires, sur les dimensions et l'état d'intégrité de la carotte, et sur l'apparence de la paroi de la cavité de carottage. En fonction de ces observations, on note chaque couche et chaque interface. Les carottages sont toujours réalisés à l'eau.



Fig.II.V.1 : Extraction des échantillons carottés

1.2 Exploitation et présentation des résultats :

La mesure d'épaisseur n'est pratiquée exclusivement sur la carotte que lorsque celle-ci est intacte. Sinon, elle doit être confirmée par une mesure dans la cavité de carottage.

L'exploitation consiste à relever la position longitudinale précise de chaque essai par rapport au système de repérage (profil ou point kilométrique PK), et la position transversale par rapport aux bords de la chaussée ;

Les résultats sont présentés sur un fichier comprenant les informations nécessaires sur les abscisses longitudinales et transversales de l'essai, la date, la température ambiante, le nombre, les épaisseurs moyennes et l'identification des couches ainsi que leurs natures.

2. Essai géo radar :

2.1. Principe de l'essai :

Le géoradar, est une méthode non destructive éprouvée pour l'imagerie interne de nombreux types de matériaux géologiques comme les sols, roches ainsi que les matériaux artificiels de construction comme le béton, les chaussées, ou le bois. Le géoradar peut être utilisé pour la localisation d'objets métalliques ou non métalliques tels que câbles, conduites, égouts, fondations, ferraillages, ancrages et de nombreuses autres structures enterrées.

Il est utilisé pour étudier la disposition et l'épaisseur des différentes couches de terrain au préalable à différents types de travaux.

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

L'onde radar n'est pas émise selon une ligne droite depuis l'antenne mais elle décrit un cône d'émission d'une largeur connue. Les données brutes sont acquises et enregistrées selon des profils parallèles et peuvent être traitées sur un logiciel spécifique afin d'améliorer la lisibilité des radargrammes. **[36]**



Fig.II.V.2 : Géoradar

2.2 Détection des paramètres mécanique du matériau :

Le géoradar ne mesure pas des résistances pour des calculs de portance ou des informations de densité et de granulométrie. La teneur en eau des milieux joue un grand rôle dans la propagation des ondes. **[36]**

2.3 Estimation d'épaisseurs de chaussée :

De la vitesse de propagation on estime l'épaisseur sus-jacente. La connaissance des paramètres diélectriques est aussi une possibilité de calcul préalable. Les études ont montré une erreur inférieure à 10 % dans le cas d'estimation d'épaisseur de couche de chaussée. Si le radar peut être calibré en un point donné les autres mesures seront encore plus fiables. **[36]**

2.4 Interprétation des résultats :

Les résultats sont exploités après acquisition par logiciel Radan 6.6, totalement dédié au radar qui permet une interprétation des couches en 2D, l'interprétation est facilitée par de nombreux outils automatiques et manuels. **[36]**

3. Essai CBR (California bearig ration) :

La portance du sol est sa résistance à la rupture déterminée par l'essai CBR, le Californien Bearing Ration (norme NF P 94-078). Cet essai donne une mesure de la portance relative des sols par rapport a un sol type de référence. Il permet d'observer le comportement du matériau vis-à-vis sa densification ainsi qu'une idée de sa résistance à l'eau.

L'indice de portance CBR immergé (I CBR après 4 jours d'immersion), et indice portant immédiat IPI, se calculent ainsi par le rapport entre la pression d'enfoncement du sol et celle d'un matériau type référence (en %) :

$$\frac{effort\ \ de\ pénétration\ \text{à}\ 2{,}5mm\ d'enfoncement(en\ kn)}{13{,}35} \times 100$$

$$\frac{effort\ de\ pénétration\ \text{à}\ 5mm\ d'enfoncement(en\ kn)}{19{,}93} \times 100$$

L'indice recherché est par convention la plus grande de ces deux valeurs. **[37]**

3.1 Principe de l'essai :

L'essai consiste à poinçonner 1 échantillon de matériau compacté pat pénétration d'un poinçon cylindrique à vitesse constante (1,27 mm /min).
On relève les valeurs des forces correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm.
On rapporte ces valeurs à celles obtenues sur un matériau de référence pour en déduire la valeur de l'indice portant recherché. **[37]**

3.2 Type d'essais :

- ✓ **L'indice Portant Immédiat (IPI) : :** mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle ou dans la plage de teneur en eau dans lequel il susceptible d'évoluer.

Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins en phase chantier.
Le matériau est compacté à l'énergie Proctor normal dans le cas d'un sol et à l'énergie Proctor modifier dans le cas d'un matériau d'assise de chaussée.

- ✓ **L'essai CBR immédiat (I.CBR immédiat) :** mesure la résistance au poinçonnement d'un sol compacté généralement à l'énergie Proctor modifier à sa teneur en eau à l'optimum Proctor (W opn).

En plus, dans la mesure ou le matériau est support ou constituent d'une structure de chaussée. L'éprouvette de sol testé sera surchargée en tête par des disque annulaires représentant l'équivalent de la contrainte imposée par la chaussée sur la plate-forme.

- ✓ **L'essai CBR après immersion (I.CBR immersion) :** mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différences teneurs en eau puis immergé pendant plusieurs jours (4 en général). **[37]**



Fig.II.V.3 : Essai CBR (California Bearing ratio)

4. Essai Pénétromètre statique :

L'essai de pénétration statique : est un essai géotechnique réalisé en place en vue d'obtenir les paramètres de sol suivants **[38]** :

- La résistance à la pénétration d'un cône normalisé ;
- Eventuellement le frottement latéral mobilisé sur un manchon cylindrique A partir des paramètres mesurés, l'essai de pénétration statique permet d'apprécier entre autres :
- La succession des différentes couches de terrain, et éventuellement leur nature ;
- L'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies ;
- Certaines caractéristiques des sols traversés ;



Fig.II.V.4 : -le camion à pénétromètre statique -pénétromètre statique -vue dans le camion

4.1 Domaine d'application :

L'essai de pénétration statique est réalisé dans tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 20mm. **[38]**

4.2 Principe de l'essai :

L'essai de pénétration statique consiste à enfoncer verticalement dans le sol, sans choc, ni vibration, ni rotation, à vitesse constante imposée, une pointe munie d'un cône en partie inférieure par l'intermédiaire d'un train de tige qui lui est solidaire et à mesurer la résistance à la pénétration de ce cône.

On peut mesurer l'effort total de pénétration, ainsi que l'effort de frottement latéral local sur un manchon de frottement situé immédiatement au-dessus du cône. **[38]**

VI. Mesure l'adhérence :

L'adhérence d'un revêtement correspond à sa capacité à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique et la surface de la chaussée sous l'effet des sollicitations engendrées par le véhicule. **[39, 40, 41]**

L'adhérence d'une chaussée est qualifiée **[42, 43, 44, 57, 39, 40, 41]** :

- Soit par des mesures de frottement entre un pneu d'essai et la chaussée,
- Soit par des mesures de la texture du revêtement
- Ou bien par la combinaison des 2 méthodes.

6.1 Caractéristiques mesurées :

La mesure des caractéristiques de la texture est indispensable pour connaître le niveau initial d'adhérence du revêtement et pour évaluer sa capacité à se maintenir à un bon niveau dans le temps. **[42, 43]**

L'adhérence d'une chaussée peut être appréciée **[42, 43]** :

- Soit par des mesures directes de la seule macro texture, car il n'existe pas aujourd'hui de méthode satisfaisante pour la mesure à grand rendement de la micro texture,
- Soit par des mesures indirectes de la macro texture et de la micro texture par le biais de mesures de frottement.

6.2 Résultat :

Le résultat obtenu est le coefficient de frottement longitudinal CFL appelé coefficient SRT. La vitesse équivalente du bras du pendule portant le patin de caoutchouc de 76,2 par 25,4 mm est d'environ 10 Km/h.

Plus l'adhérence rencontrée par le patin est élevée et moins le bras du pendule remonte après frottement.

Pour une surface donnée, la valeur du coefficient SRT est égale à la moyenne de 5 points de mesures élémentaires avec la réalisation de 5 lâchers par point.

Le coefficient de frottement longitudinal (CFL) est défini comme le rapport entre la force F et la réaction R normale au sol, due à la charge sur roue :

$$CFL = \frac{F}{R}$$

Il conviendra de calculer, à partir des valeurs élémentaires, une valeur moyenne de CFLA qui représentera le résultat de l'essai. **[42, 43, 44, 57, 39, 40, 41]**

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constitué du sol terrassé (dit sol support) surmontée d'une couche de forme.

Chapitre II : Evaluation Géotechnique Des matériaux Corps de Chaussée et Matériaux de Renforcement

Chapitre II : Evaluation géotechnique des matériaux corps de chaussée et matériaux de renforcement

I. Constitution des couches des chaussées souples et modes d'endommagement :

1) La couche de forme :

Cette couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée a une fonction mécanique, d'homogénéiser et d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

2) La couche d'assise (fondation et de base) :

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux sélectionnés, plus souvent liés aux chaussées à trafic élevé, apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau des limites admissibles.

3) La couche de surface :

La couche de surface est constituée :

- De la couche de roulement, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat,
- Et le cas échéant d'une couche de liaison, entre la couche d'assise et la couche de roulement c'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assisse.

Les caractéristiques de surface de la couche de roulement dépendent, pour une large part, de la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue en outre à la pérennité de la structure de la chaussée en particulier par la fonction d'étanchéité

Vis-à-vis de l'assise. **[01]**

4) Fonctionnement et endommagement des chaussées souples :

Les chaussées évoluent et se dégradent sous l'effet généralement combiné de la répétition des charges roulantes (trafic), des agents climatiques et du temps. La connaissance de la nature des dégradations et de leurs modes d'évolution est essentielle pour **[46, 47, 48, 7, 14, 13]** :

- Comprendre le mode de fonctionnement des structures des chaussées ;
- Choisir le modèle de calcul adapté à la technique ;
- Ajuster, enfin, les résultats des calculs pour les aspects mal appréhendés par le modèle mécanique utilisé pour le dimensionnement de la structure de chaussée ;

Les chaussées souples se caractérisent soit, par une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15cm), parfois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible

trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités dont l'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60cm. Soit, par une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou de deux couches (base et fondation), l'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm.

5) Modes de renforcement d'une chaussée souple :

Choisir un mode de renforcement d'une chaussée souple, c'est définir les moyens (les coûts de réalisation et d'entretien ultérieur) pour maintenir dans le temps le niveau de service qui a été fixé comme objectif.

L'étude comparative des modes de renforcement nécessite une approche économique à long terme en tenant compte d'éléments aléatoires comme la croissance du trafic et les conditions climatiques et d'environnement de la route.

Le choix d'un mode de renforcement dépend de plusieurs paramètres :

- Le coût des travaux de renforcement ;
- Les avantages liés aux améliorations de la sécurité, aux gains de temps, aux réductions des coûts de fonctionnement des véhicules et aux effets indirects sur l'économie.

En d'autres termes, le mode de renforcement recherché est celui qui minimise les dépenses actualisées sur une période de référence en fonction des contraintes budgétaires. **[46, 47, 48, 7, 14, 13]**

5.1. Les méthodes de conception :

Concevoir une chaussée, c'est en premier lieu dimensionner des épaisseurs. On s'assure que l'épaisseur de la chaussée, assimilée à une couche homogène (ou à plusieurs couches homogènes), permet d'atténuer suffisamment les efforts transmis au sol support. **[46, 7, 14, 13]**

On s'assure ensuite que la chaussée elle-même n'est pas sollicitée en flexion de façon excessive au regard de sa résistance en fatigue.

5.2. Les caractéristiques superficielles :

a. L'uni :

Dans le domaine routier, l'uni, c'est le confort de l'usager et aussi sa sécurité. Des spécifications précises montrent l'attention que lui portent généralement les maîtres d'œuvre. **[25, 13, 14]**

b. L'adhérence pneumatique/chaussée :

Les véhicules routiers, doivent pouvoir mobiliser le frottement des pneumatiques sur la chaussée dans les séquences de virage (sur les dégagements à grande vitesse) et de freinage. **[42, 43, 44, 45]**

6) Renforcement des chaussées souples :

Afin d'effectuer un renforcement dans des conditions techniques et économiques convenables, il est nécessaire de connaitre la « valeur résiduelle » de la chaussée existante de façon à pouvoir déterminer (au mieux) le renforcement nécessaire. C'est par l'auscultation des chaussées. **[46, 10, 49, 50, 51]**

L'étude de renforcement d'une chaussée souple se déroule de la manière suivante **[46, 52, 10, 49, 50, 51]** :

a. **Mesures des déflexions :** Il convient d'abord de faire passer le déflectographe sur la voie la plus chargée. Les mesures de déflexion se font à l'aide de :
   - Déflectographe LACROIX ;
   - HWD (déflectomètre à masse tombante).
b. Analyse de l'état de surface, environnement ;
c. Relevé des désordres existants sur la chaussée et ses dépendances.
d. **Connaissance des structures :** ce sont les essais in situ qui permettent d'identifier la structure en place, surtout en ce qui concerne l'état réel des matériaux et l'épaisseur effective de la chaussée. Les méthodes généralement utilisées sont les sondages carottés et le géoradar.
   Il importe de regrouper ces renseignements dans un seul document synthétique appelé « schéma itinéraire ». A ce stade, il convient :
   - D'examiner la cohérence entre les diverses informations recueillies, en particulier la déflexion, l'état de surface et le type de structure existante ;
   - D'analyser le cas des points singuliers ;

   Après élimination de toutes divergences possibles entre les diverses informations, le schéma itinéraire permet d'aborder le projet de renforcement :

   - Préciser les zones que l'on pourra considérer comme homogènes donc susceptibles de recevoir un même renforcement ;
   - Déterminer les dispositions à prendre pour l'amélioration du drainage, les traitements particuliers, les épaulements et les surlargeurs ;
   - Choisir la technique de renforcement et évaluer les épaisseurs convenables ;

7) Évaluation de la charge admissible d'une chaussée :

Les lois logarithmiques de fatigue établissent une correspondance entre l'intensité de la charge appliquée et le nombre de cycles admissibles. Par exemple, l'utilisation d'une charge double de la charge de référence ne réduit pas la durée de vie de moitié, elle peut provoquer la ruine au premier chargement.

La loi d'additivité des dommages de « Miner » est utilisée généralement pour définir l'agressivité d'un essieu, comme le dommage créé par cet essieu. Par définition, l'agressivité de l'essieu de référence est de 1.

Pour un trafic donné, on tient compte du spectre des différents essieux des poids lourds pour obtenir l'agressivité moyenne prévisionnelle.

8) Conclusion :

Dans cette partie consacrée aux modes d'endommagement des chaussées souples, nous avons pu constater qu'une chaussée évolue et se dégrade sous l'effet combiné de trois paramètres essentiels :

- La répétition des charges roulantes (trafic) ;
- Les agents climatiques ;
- Le temps ;

Et que la connaissance de la nature des dégradations, de leurs modes d'évolution et de la valeur résiduelle de la chaussée existante est primordiale afin de choisir un renforcement convenable qui tient compte des conditions techniques et économiques.

De même, ausculter une chaussée revient à évaluer son état structurel et fonctionnel afin d'établir un diagnostic et apporter les solutions nécessaires pour son maintien dans un niveau de service appréciable. Ces solutions dépendent du choix de la technique à mettre en œuvre à travers des paramètres d'état bien définis en tenant compte des coûts.

II. Géosynthétiques :

Un géosynthétique est un terme générique désignant un produit manufacturé en usine disposant d'une qualité industrielle, de caractéristiques précises et régulières, dont au moins l'un des constituants est à base de polymère synthétique ou naturel, se présentant sous forme de feuille, de bandelette, ou d'une structure tridimensionnelle, utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans le domaine de la géotechnique ou du génie civil. **[53, 54, 55, 56]**

Il permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques et/ou hydrauliques des sols ou matériaux, et d'économiser le volume des matériaux nobles. **[53, 54, 55, 56]**

1. Les principaux types et leurs applications :

Deux types principaux se dégagent :

- Les géotextiles et produits apparentés. Les plus connus sont les géotextiles non-tissés aiguilletés et thermo-soudés, les tissés, les tricotés, les géogrilles, les géoespaceurs, les géo-celles, etc. **[53]**
    - **Les géotextiles,** matières textiles planes fondamentalement perméables, sont constitués de fibres, fils, filaments, bandelettes à base de polymères, naturels ou synthétiques, (polyester, polypropylène, polyamide, etc.). Ils peuvent être tissés, non-tissés ou tricotés. Les principales fonctions des géotextiles suivant leurs conceptions et leurs caractéristiques sont : la

filtration, la séparation, le drainage, le renforcement, la protection et le contrôle de l'érosion.

- **Les produits apparentés** aux géotextiles sont des matériaux à base de polymères, perméables, se présentant sous forme de feuilles ou bandes. Ils comprennent les géo grilles, géoespaceurs, géo matelas, géo conteneurs, géo filets et les géo composites associant plusieurs matériaux (dont les géotextiles) assurant des fonctions complémentaires.

Ils sont utilisés en renforcement, drainage, protection contre l'érosion.

- Les géomembranes et Géosynthétiques bentonitiques (imperméables aux liquides et aux gaz).
  Chaque famille dispose de sous-familles pouvant elles-mêmes être assemblées les unes aux autres pour former des géo composites.
- Les Géosynthétiques sont distingués aussi selon les principales fonctions remplies suivantes **[53, 54, 55, 56]** :

a. La séparation (ou l'anticontamination) :

C'est la prévention contre le mélange de deux sols ou matériaux de remplissage adjacents de nature différente par l'emploi d'un géotextile ou d'un produit apparenté.

Les types : les tissés et les non-tissés ;

a. La filtration :

C'est le maintien du sol ou d'autres particules soumis à des forces hydrauliques tout en permettant le passage de fluides à travers un géotextile ou produit apparenté.

Les types : les tissés mono filaments et les non-tissés ;

b. Le drainage :

C'est la collecte et le transport de fluides dans le plan d'un géotextile ou produit apparenté.

Les types : les géoespaceurs

c. Le renforcement :

C'est l'utilisation de la capacité de résistance d'un géotextile ou d'un produit apparenté à des fins d'amélioration des propriétés mécaniques du sol ou d'autres matériaux de construction.

Les types : les tissés, les tricotés et les géogrilles ;

d. La protection (ou fonction anti-poinçonnant) :

C'est la fonction qui consiste à empêcher ou à limiter les endommagements localisés concernant un élément ou un matériau donné en utilisant un géotextile ou un produit apparenté.

Les types : les non-tissés ;

e. La fonction de barrière (ou étanchéité).

Elle permet d'assurer le contrôle de la migration des liquides ou des gaz.

Les types : les géomembranes et les complexes d'étanchéité bentonitiques ;

f. La lutte contre l'érosion des surfaces.

C'est l'utilisation d'un géotextile ou produit apparenté afin d'éviter les mouvements du sol ou d'autres particules, principalement sur une surface inclinée.

Les types : les Géosynthétiques alvéolaires, les géo-matelas, les géo-System, les géo-tubes, les géo-bags et les géo-celles.

2. Les principales caractéristiques : physiques, mécaniques et hydrauliques :

Les géosynthétiques sont définis par des caractéristiques, physiques, mécaniques et hydrauliques. Selon des essais normalisés, identifiés pour l'essentiel par des normes internationales de type ISO ou européennes de type EN, ou nationales de type NF, DIN, ASTM, **[53, 54, 55, 56].**

a) Les caractéristiques physiques :

- L'épaisseur, selon la norme EN964-1
- La masse surfacique selon la norme EN965 ;
- Le type de fabrication : tissé, non tissé, aiguilleté, tricoté, géogrille, …
- Le type de polymère : polypropylène, polythylène, polyester, …
- Le taux de noir de carbone selon la norme ASTM D 1603 (pour les géomembrane)
- La densité selon la norme ASTM D 1505/D 792 (pour les géomembrane)
- La stabilité dimensionnelle selon la norme ASTM 1204 (pour les géomembranes)

b) Les caractéristiques mécaniques :

- La résistance à la rupture, selon la norme ISO 10319 ;
- L'allongement à la rupture, selon la norme ISO 10319 ;
- Le poinçonnement statique selon la norme ISO 12236
- La perforation dynamique selon la norme EN 918
- Le fluage selon la norme ISO 13431
- La résistance au seuil d'écoulement selon la norme ASTM D 638 (pour les géomembranes) ;
- L'allongement au seuil d'écoulement selon la norme ASTM D 638 (pour les géomembranes) ;
- La résistanne à la déchirure selon la norme ASTM D 1004 (pour les géomembranes)
- La résistance à la fissurantion selon la norme ASTM D 5397 (pour les géomembranes)
- La stabilité dimmentionnelle selon la norme ASTM 1204

c) Les caractéristiques hydrauliques :

- La permiabilité en m/s normale au plan selon la norme ISO 11058;
- La capacité d'écoulement dans le plan selon la norme ISO 12958 : elle correspond au débit volumétrique d'eau par unité de largeur de section transversale pour des gradients définis, en m^2/s;
- L'ouverture de filtration selon la norme ISO 12956 en microns selon la norme ISO 12956;

III. Géogrille de renforcement à base de fibre verre :

1. Fibre verre :

La fibre de verre est un filament de verre. **[49]**

La fibre de verre permet :

- Des réductions de poids en améliorant les performances, pour un prix compétitif : on peut en faire une fabrication en séries. Un allègement des structures d'environ 30 % par rapport à l'acier.
- L'inertie chimique ;
- La résistance aux chocs ;
- L'isolation.

Les principales utilisations de la fibre sont, par ordre d'importance :

- Les infrastructures routières et aéroportuaires
- Les bâtiments ;
- Les transports ;
- L'électricité et l'électronique ;
- Les sports et loisirs ;
- Les équipements industriels.

1.1 Composition :

Plusieurs types de compositions verrières sont utilisés comme matières premières, en fonction de l'usage spécifique qu'il sera fait de la fibre. Pour les fibres de renforcement standard, c'est un verre borosilicaté dit type E, la composition du verre standard utilisé dans les fibres de renforcement est la suivante **[49]** :

Tab.II.III.1.1 : Composition du verre standard utilisé dans les fibres de renforcement

	Verre de type E
SiO_2	53-55 %
Al_2O_3	14-15 %
Ca0	17-23 %
MgO	1%
Na_2O_3	0,8%
B_2O_3	0-8%
Fe_2O_3	0,3 %
TiO_2	0,5 %

Il est utilisé également le bore, pour améliorer la fluidité du mélange et abaisser la température de fusion, ce qui améliore la viscosité et le filage.

Les matières premières représentent moins de 20 % des coûts standards dont la moitié représentée par la colémanite ($CaO\ 3B_2O_3\ 5H_2O$) (porteuse de bore).

1.2 Utilisation de la fibre de verre en renforcement des chaussées souples :

La fibre de verre trouve des applications dans plusieurs domaines notamment en renforcement, en isolation et en optique. L'utilisation en renforcement est la plus importante. **[58]**

L'utilisation de la fibre de verre dans le renforcement des chaussées apporte une résistance en traction. Les poids de matières de verre utilisés pour un (01) km sont 600tex, 1200tex et 2400tex (le tex est une unité de mesure

textile qui indique le poids de matière). Ainsi le 600 tex est un fil composé d'un certain nombre de fibres pesant au total 600g pour 1000m. Le diamètre de la fibre est de 15 à 17 microns. **[58]**

2. Grilles en fibres de verre enduites :

Les grilles en fibre de verre destinées à l'entretien des chaussées, utilisées en tant que renfort pour lutter contre la fissuration des enrobés, sont enduites d'une résine spécifique. La fibre de verre est un matériau minéral à base de silice. Le verre est un produit remarquable par ses propriétés mécaniques **[46]** :

- Forte résistance mécanique,
- Haut module d'élasticité (70 000 MPa),
- Excellente résistance à la température,
- Faible coût.

La résine permet une protection mécanique et chimique de la fibre de verre. Le non-tissé permet d'absorber le liant d'imprégnation ainsi que de servir d'interface entre ce même liant et la roue du camion lors du processus de mise en œuvre. **[58, 59]**

Les dosages sont déterminés pour chaque grille afin d'assurer un bon collage. **[59, 58]**

2.1 Conception des grilles et effet de l'enduction du verre pour sa protection :

- Fibres de verre → haut module
- Fibres enduites → protection mécanique (circulation des engins de compactage)
- Maillage ouvert → engrènement des granulats
- Épaisseur > 1 mm
- Résistance mécaniques adaptées au problème à traiter
- Non-tissé → mise en œuvre

La fibre de verre doit être impérativement enduite. Les résines utilisées sont des résines thermoplastiques à la base de PVC. **[58]**

Les évolutions actuelles s'orientent vers l'utilisation des résines thermodurcissables à base de Styrène Butadiène Ramifiées (latex) qui ont un meilleur module. **[59]**

En présence des contraintes mécaniques élevées et lors d'une pauvre protection, les points collés peuvent être rompus, entraînant la désolidarisation de la grille et par la suite la formation éventuelle de plis, donc la détérioration du composite. **[59]**

2.2 Spécificité des grilles :

A faible allongement, la grille a de meilleures résistances mécaniques (module). **[58]**

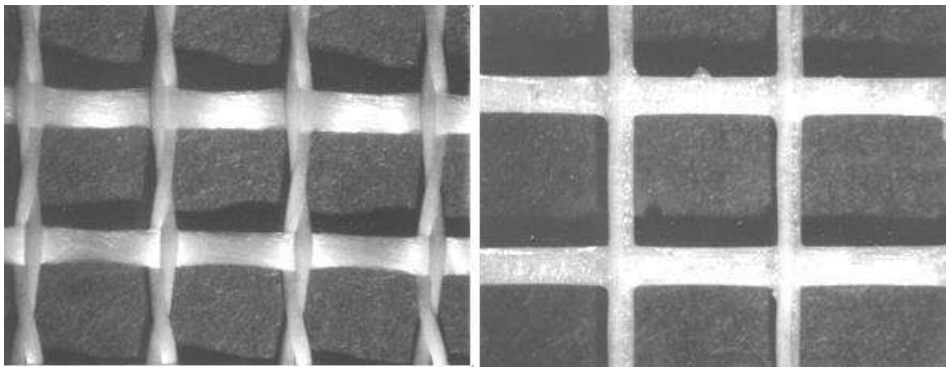


Fig.III.2.2 : a. Grille tissé b. grille soudée

L'essai au laboratoire couramment utilisé sur les grilles à base de fibre de verre est l'essai de traction au dynamomètre. La traction se fait sur des grilles de fibre de verre non enduites pour la détermination de la résistance théorique en KN/m. **[58, 61, 57, 62, 63]**

❖ **Essais de détermination des propriétés mécaniques des géogrilles :**

La détermination des propriétés mécaniques en traction de géotextiles et de produits apparentés se fait à l'aide d'une méthode d'essai prescrite par la norme internationale ISO10319.

Cette méthode couvre le mesurage des caractéristiques de force et d'allongement et comprend les modes de calcul de la raideur sécante, de la force maximale par unité de largeur et de la déformation à force maximale.

▪ **Principe de la méthode :**

Une éprouvette est tenue sur toute sa largeur entre les mâchoires d'une machine d'essai de traction et applique une force longitudinale jusqu'à la rupture de l'éprouvette. Les caractéristiques de traction de l'éprouvette sont calculées à partir des lectures enregistrées automatiquement par les appareils de mesure. La vitesse de déformation est fixée, généralement à 20% par minute.

L'essai de base pour les géogrilles utilise des éprouvettes de 200mm de largeur et de 100mm de longueur. Les renseignements sur les déformations, les mesurages d'extensions sont tirés à l'aide d'un extensomètre qui suivra le déplacement de deux points de référence sur l'éprouvette. La distance entre chaque côté du centre de symétrie de l'éprouvette est modifiée afin d'inclure un nombre entier de nœuds.

IV. Couche d'accrochage :

La couche d'accrochage et de liaison des couches bitumineuses renforcées par géogrille est un élément essentiel dans la pérennité de la structure de chaussée. **[64, 65, 66, 67]**

1. Liaison des couches bitumeuses sous la grille :

La parfaite liaison des couches bitumineuses garantit l'efficacité de la grille et assure sa bonne fonctionnalité suite à une parfaite liaison avec la matrice. Les forces de traction provenant de l'armature sont transmises dans les couches bitumineuses placées au-dessus et en dessous par l'intermédiaire de la liaison des couches. **[58, 65]**

La grille à base de fibre de verre encaisse les forces de traction qui s'exercent dans la couche bitumineuse et soulage, ainsi, considérablement cette dernière.

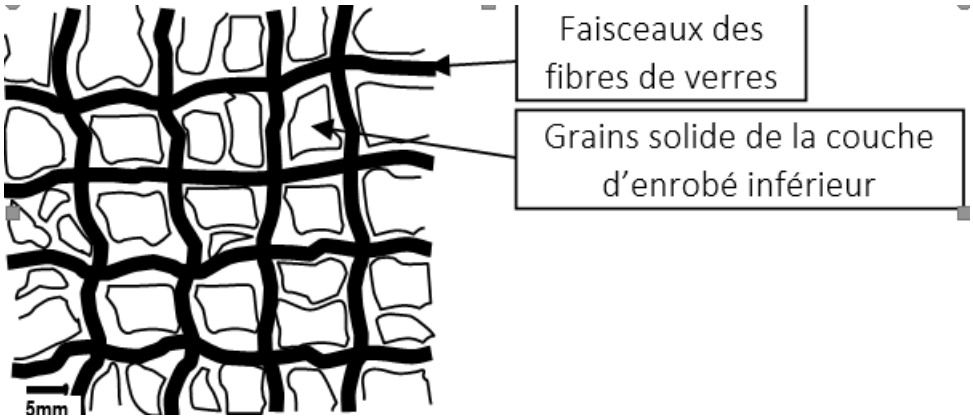


Fig.IV.1 : Ouvertures des faisceaux de fibres de verres [58].

2. Couche d'accrochage des couches bitumineuses :

La technique de la couche d'accrochage est peu regardée comme étant importante dans les structures de chaussées souples. Or, de nombreux programmes de dimensionnement prennent en compte le collage des couches comme implicites.

Il n'existe pas d'essais ou de procédures normalisés ; il n'existe, à l'heure actuelle, que des tentatives permettant de montrer l'efficacité de cette technique. **[64, 65, 66, 67]**

3. Effet du dosage de la couche d'accrochage :

La détermination du dosage reste jusqu'à présent empirique et est basée souvent sur des idées reçues. Par exemple, dans les zones à climat chaud on minimise le dosage des couches d'accrochage afin d'éviter le ressuage. **[66, 67]**

L'absence de la couche d'accrochage a montré que l'enrobé bitumineux de surface se fatiguera rapidement et d'une manière excessive. Ce phénomène de fatigue accélérée n'apparaitra qu'après un temps de sollicitations dues au trafic. **[64, 65, 66, 67]**

Le dosage doit être réalisé de la façon la plus industrielle possible et la plus précise. Il est important de décrire le dosage des couches d'accrochage en liant résiduel (bitume restant à l'interface après évacuation de l'eau) plutôt qu'en émulsion de bitume dont la teneur en bitume peut être variable suivant les usages courants. **[66, 67]**

La couche d'accrochage habituellement appliquée est de 600 g/m². Elle est à moduler en fonction du support. L'utilisateur final doit vérifier le collage des enrobés et valider la couche d'accrochage définitive. **[66, 67]**

V. Enrobés bitumineux de surface :

1. Généralités :

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant hydrocarboné et de granulats. **[68, 69, 70]**

- Le liant assure la cohésion entre les grains minéraux en les mouillant et en les enrobant d'un film continu.
- Le squelette granulaire est l'ossature rigide du mélange. La distribution des tailles des différents agrégats donne la composition granulométrique du squelette granulaire qui peut être continue ou discontinue selon la destination du mélange et les propriétés visées.
- Le filler absorbe une part du liant introduit et forme le mastic qui est plus rigide et moins thermiquement et cinétiquement susceptible que le liant pur.

Les enrobés bitumineux de surface sont d'une épaisseur moyenne de mise en œuvre comprise entre 5 et 10cm. On distingue trois familles d'enrobés **[46, 52, 70]** :

- Les bétons bitumineux semi-grenus (BBSG)
- Les bétons bitumineux à module élevé (BBME)
- Les bétons bitumineux souples (BBS) d'épaisseur variable, pouvant être ainsi considérés comme des BB épais ou minces et réservés aux chaussées à faible trafic

2. Les essais sur les enrobés bitumineux :

Les essais de laboratoire utilisés sur les enrobés bitumineux sont **[71, 68, 69, 70]** :

2.1. L'essai Marshall :

C'est un essai qui conduit à la détermination directe de deux grandeurs : le fluage (mm) et la stabilité Marshall (kN), deux grandeurs liées à la caractérisation empirique de l'orniérage.

2.2. Essai Duriez :

Cet essai qui exprime la tenue à l'eau du mélange, il consiste à compacter l'enrobé dans un moule cylindrique par une pression statique à double effet. Une partie des éprouvettes est conservée sans immersion à une température de 18°C et une hygrométrie contrôlée, l'autre partie est conservée immergée. Chaque groupe d'éprouvettes est écrasé en compression simple.

Le rapport de la résistance après immersion à la résistance à sec donne la tenue à l'eau du mélange.

2.3. La presse à cisaillement giratoire (PCG) :

La presse à cisaillement giratoire permet d'étudier l'aptitude au compactage des enrobés hydrocarbonés par l'estimation du pourcentage de vides en fonction de l'épaisseur de la couche d'enrobé.

Le mélange hydrocarboné préparé en laboratoire, est placé dans un moule cylindrique de 150 mm ou 160 mm de diamètre.

On applique sur le sommet de l'éprouvette une pression, verticale de 0,6 MPa. En même temps, l'éprouvette est inclinée d'un angle faible de l'ordre de 1° (externe) ou 0,82° (interne) et soumise à un mouvement circulaire.

Ces différentes actions exercent un compactage. On observe l'augmentation de compacité en fonction du nombre de tours.

2.4. L'essai de compression diamétrale ou essai brésilien :

Cet essai a pour but d'atteindre un état de traction dans la zone centrale d'un échantillon cylindrique de faible épaisseur. Les grandeurs mesurées au cours de l'essai sont : la variation du diamètre de l'éprouvette et la force d'application. Par calcul on déduit le module de déformation et la résistance à la traction du matériau.

2.5. Les essais de module :

La rigidité du mélange est déterminée soit par un essai de module complexe (sollicitation sinusoïdale sur éprouvette trapézoïdale) soit par un essai de traction.

Le module (rapport de la contrainte à la déformation) est calculé pour chaque essai élémentaire (température, fréquence).

2.6. L'essai d'orniérage :

Le corps d'épreuve est une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur, selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé est inférieure ou supérieure à 5 cm. Cette plaque est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1 Hz, charge : 5 kN, pression : 6 bars), dans des conditions sévères de température (60 °C).

La profondeur de la déformation produite après passage de la roue, est notée en fonction du nombre de cycles. Les spécifications portent sur un pourcentage d'ornière à un nombre de cycles donné, qui dépend du type de matériau, et de sa classe.

2.7. L'essai de traction directe :

Il s'agit d'un essai de traction à température constante et à vitesse de déformation constante. Au cours de l'essai, les paramètres mesurés sont la contrainte et la déformation.

La contrainte maximale, encore appelée contrainte de rupture, et la déformation correspondante, donnent directement accès à la résistance en traction du matériau testé, pour les conditions d'essais (température, vitesse) considérées.

2.8. Essai de fluage statique uni-axial :

L'essai consiste à charger axialement, avec une charge constante des éprouvettes cylindriques d'enrobés afin de déterminer la déformation résultante dans la direction de la charge. La déformation relative « ε » égale au rapport « ΔH/H » peut être représentée en fonction du temps.

2.9. Essai de fluage dynamique :

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la déformation d'une éprouvette cyclique de mélanges bitumineux. L'éprouvette est préparée en laboratoire ou extraite de la chaussée.

Une éprouvette cylindrique, maintenue à une température de conditionnement élevée, est placée entre deux pistons de chargement parallèles et plans.

2.10. Les essais de fatigue :

C'est un essai statistique où des éprouvettes identiques, sous conditions d'essai, donnent des résultats différents. Il y a une répartition statistique des résultats autour d'une valeur moyenne ou médiane. Cette valeur moyenne, une fois déterminée, est choisie comme représentative de la capacité du matériau. Il y a trois types d'essais de fatigue:

- Traction compression,
- Torsion alternée
- Flexion alternée.

Chapitre III : Présentation de l'aéroport d'Alger

Chapitre III : présentation de l'aéroport d'Alger

Introduction :

L'aéroport Houari Boumediene situé à une vingtaine de kilomètres à l'Est d'Alger constitue l'infrastructure aéroportuaire civile unique de la capitale algérienne et reçoit de ce fait un trafic très important.

L'aéroport dispose de deux pistes en béton bitumineux, la principale (05/23) d'une longueur de 3 500 m et de 60m de largeur et la secondaire (09/27) de longueur de 3 500 m et de 45m de largeur.

Un taxiway (voie de circulation) parallèle à la piste principale de 25m de largeur et de 2050m de longueur avec 04 bretelles de raccordement ;



Fig.III.1 : photo de satellite de l'aéroport d'Alger



Fig.III.2 : photo de satellite de la piste principale de l'aéroport d'Alger

I. Généralité sur l'aéroport d'Alger :

L'aéroport d'Alger ou aéroport Houari Boumediene est un aéroport civil international situé à environ de 20 Km d'Alger en Algérie, desservant la capacité algérienne et sa région, il s'agit du plus important de tous les aéroports algériens. Il est composé d'une aérogare pour les vols internationaux, d'une aérogare pour les vols intérieurs, et d'une troisième pour les vols charters. Sa capacité est de 10 millions de passagers/an.

1. Emplacement géographique :

Situé à l'Est de la capitale, l'Aéroport d'Alger (Houari Boumediene) est le centre de l'activité aérienne nationale, il se situe sur la commune de Dar El Beida à l'Est d'Alger et s'étend sur une surface 850 Hectares, il est implanté au cœur d'une zone d'activité regroupant plusieurs installations activant dans les domaines de la maintenance, logistique et approvisionnement carburant (kérosène).

2. Renseignements concernant l'aéroport d'Alger :

- Code de OACI : DAAG.
- Code IATA : ALG.
- Altitude : 25m/82ft
- Température : 30,6°C.
- Types de trafic autorisé : IFR/VFR.
- Classification de l'espace aérien : D.
- Code de référence de l'aérodrome : 4 E.
- CTR ALGER / Houari Boumediene :
    - Limites latérales : cercle de 06 NM de rayon centré sur 364140N 0031301 E.
    - Limites verticales 450 M GND/MSL. **[72]**

II. Infrastructures liées à l'aéroport d'Alger :

Un aérodrome est l'ensemble des infrastructures permettant le décollage, l'atterrissage et les évolutions des avions au sol. Un aéroport est destiné au trafic aérien commercial de passager ou de fret, il est constitué par l'ensemble des bâtiments et installations qui permettent l'embarquement et le débarquement des passagers ou du fret.

Le bâtiment principal, l'aérogare, est le lieu de transit entre les transports au sol, publics ou privés, et les avions. L'aérogare abrite les installations utilisées par les compagnies aériennes, les services de police ou de douane, pour effectuer les opérations d'enregistrement, de contrôle, etc.

Les aéroports les plus importants ont parfois plusieurs aérogares donnantes elles-mêmes accès à des terminaux déportés ou stationnent les avions.

Les aéroports sont souvent qualifiés en fonction de leur activité principale, aéroport international, national ou régional, aéroport de fret. Un aéroport international est utilisé, en partie, pour les vols entre pays différents et son aérogare accueille les services de la douane.

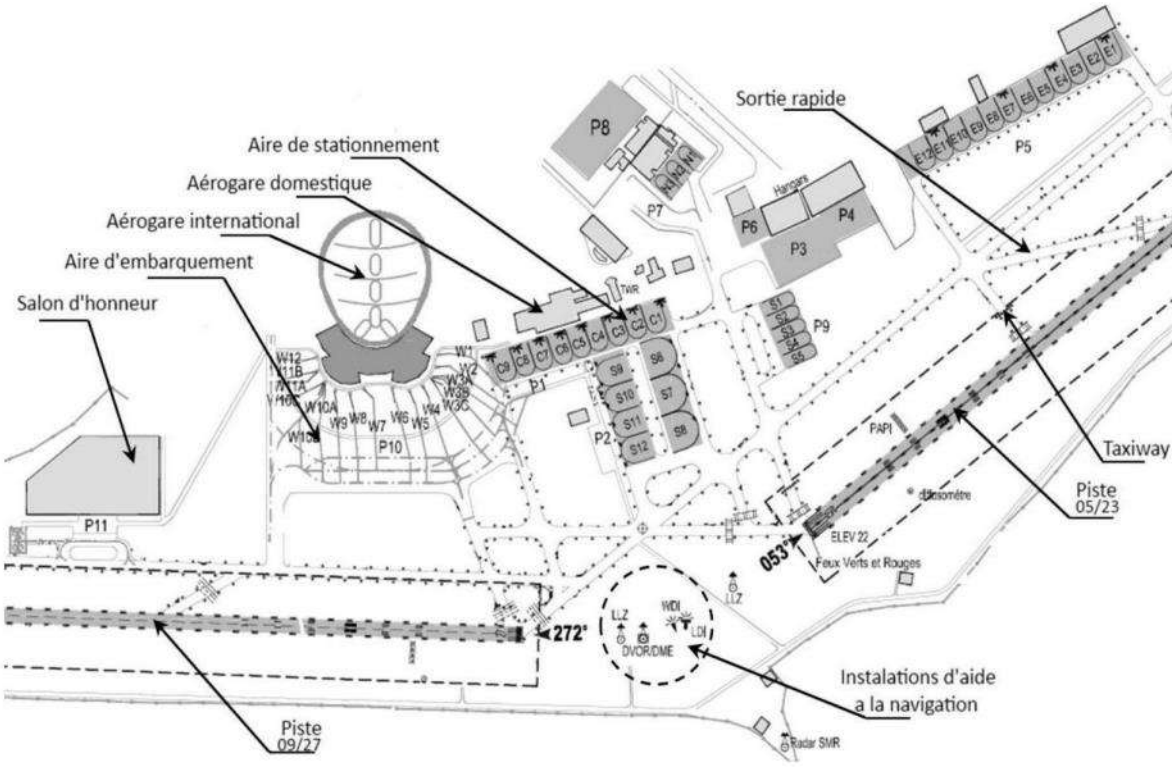


Fig.III.II : différents éléments de l'aéroport d'Alger

1. **Piste :**

Les pistes d'un aéroport sont construites en dur : en général le revêtement est en bitume ou composé de plaques de béton. Elles sont bordées de balises lumineuses pour être facilement repérable de nuit, ou lorsque les conditions météorologiques sont mauvaises (pluie, brouillard), et pour une aide visuelle à l'atterrissage (PAPI). De plus, l'installation comprend un système de balises pour les appareils de repérage automatique intégrés notamment dans les avions de ligne (ILS). **[73]**

La plupart des pistes servent à la fois à l'atterrissage et au décollage. Ceci suppose une organisation et une synchronisation sans faille des mouvements d'avions.

L'aéroport d'Alger dispose de deux pistes, une principale (05/23) et l'autre secondaire (09/27) :

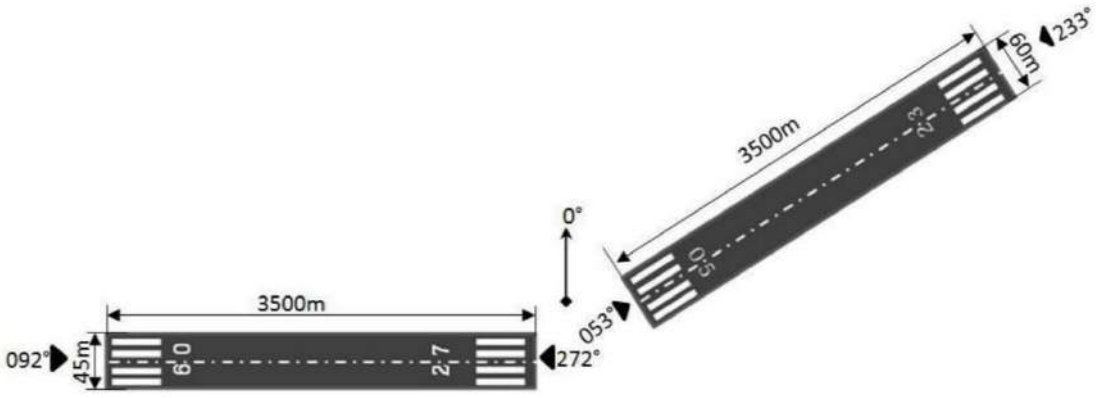


Fig.III.II.1 : les deux pistes de l'aéroport d'Alger

- **Piste principale :**

C'est la piste principale, et la plus fréquentée elle est caractérisée par :

- Dimension : 3500 m × 60 m.
- Résistance (PCN) et revêtement de la piste : 75 F/D/W/T béton bitumineux.
- Dimension de la bande : 3620 m × 300 m.
- Pente de la piste : 0,09 %.
- Altitude de seuil :
  - RWY 05 : 22 m.
  - RWY 23 : 25 m.

Au niveau de cette piste, il n'y a pas de prolongement d'arrêt (stopway), ni de prolongement dégagé (clearway), ce qui veut dire que les distances déclarées de la piste sont les mêmes.

TORA=TODA=ASDA=LDA=3500m.

La piste 23 c'une piste d'approche de précision desservie par un ILS de catégorie III qui assure le guidage depuis la limite de couverture de l'installation jusqu'à la surface de la piste et le long de cette surface.

- **Piste secondaire (09/27) :**

Elle se caractérise par :

- Dimension : 3500 m × 45 m
- Résistance (PCN) et revêtement de la piste : 78 F/D/W/T Asphalte.
- Dimension de la bande : 3930 m × 300 m
- Pente de la piste et du prolongement d'arrêt : 0,11%.
- Altitude du seuil :
  - RWY 09 : 17m.
  - RWY 27 : 20m.

Cette piste n'est pas équipée d'un prolongement dégagé (clearway), mais elle dispose d'un prolongement d'arrêt d'une longueur de 310m, ce qui implique que les distances déclarées de la piste seront comme suit :

TORA=TODA=LDA

ASDA=3810 m.

La piste 09 est desservie par un ILS de catégorie I, destinée à l'approche avec une hauteur de décision au moins égale à 60m (200 ft) et avec une visibilité au moins égale à 800 m ou une portée visuelle de piste au moins égale à 550 m. **[73]**

Consignes particulières d'utilisation des pistes :

Utilisations simultanée éventuelle des deux pistes en fonction des vents soit QFU (09) pour l'atterrissage QFU (05) pour le décollage, ou bien QFU (23) pour l'atterrissage et QFU (27) pour le décollage.



Fig.III.II.1 : Seuil de la piste 05.

Pour ce qui est du seuil, il est défini comme étant le début de la partie de la piste utilisable pour l'atterrissage, sur l'aéroport d'Alger les seuils des deux pistes sont définis au début de chaque piste.

2. Aérogares :

L'aéroport d'Alger dispose de deux terminaux principaux (T1 et T2) un pour les vols domestiques et l'autre pour les vols internationaux, ainsi qu'un troisième (T3) pour les vols charters, tous destiné à accueillir les passagers de l'aéroport.

L'aéroport d'Alger dispose aussi par une nouvelle aérogare internationale T4 (aérogare ouest). **[74]**

➢ Le Terminal 1 (T1) :

Dédié aux vols internationaux, présente une capacité d'accueil de 6 millions de passagers par an, il été officiellement inauguré le 5 juillet 2006.

Cette terminale offre aux passagers et aux usagers toutes les commodités et services modernes afin de répondre le mieux possible à leurs attentes avec ses :

- **64 banques d'enregistrements.**
- **18 portes d'embarquements.**



Fig.III.II.2 : Vue aérienne du Terminal 1.

Le **T1** s'étend sur une surface de 82000 m^2 en plus d'être équipé de deux halls :

- Hall 1 : destinations desservies par la compagnie nationale, Air Algérie.
- Hall 2 : Destinations desservies par des compagnies internationales telle que : Air France, Aigle Azur…

Le terminal a été construit selon les normes internationales les plus récentes ce qui en fait l'un des plus modernes d'Afrique avec notamment 12 passerelles télescopiques qui permettent de débarquer directement de l'avion vers le terminal et vice versa.

Les deux tableaux suivants montrent les différents types d'avions pour chaque poste de stationnement lié au terminal 1 **[74]** :

Tab.III.II.2 : Catégories avions et postes avions.

N°	P1	P2	P3 A	P3 B	P3 C	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P 10 A	P 10 B	P 10 C	P 11 A	P11 B	P 12
Cat	D	D	C	E	C	C	C	C	E	C	C	C	E	C	D	E	D

Tab.III.II.2 : Correspondance catégorie / type d'avion.

Catégories	Type d'avion
C	Airbus 319/320/321, Boeing 727/737, MD 80/90
D	Airbus 300/310, Boeing 757
E	Airbus 330/340, Boeing 747/777

- **Le Terminal 2 :**

Le (T2) s'étend sur une surface de 20886 m^2 dédié aux vols internes, et qui a été rénové en 2007, il dispose d'une capacité d'accueil de 2,5 millions de passagers par an, et offre des conditions de confort et de sécurité comparables à celles du Terminal 1 avec ses **[74]** :

- **20 banques d'enregistrements.**
- **7 portes d'embarquements.**



Fig.III.II.2 : Terminal 2 dédié aux vols internes.

Note : pour des vols domestiques, les passagers sont transportés à l'aide de bus.

- **Le Terminal 3 (T3) :**

L'anciennes aérogare nationale a fait elle aussi l'objet d'un réaménagement, ce dernier est destiné aux vols de pèlerinage et aux vols charters, et dispose d'une capacité d'accueil de 1 million de passagers par an.

Avec une surface de : 11088 m^2, il dispose de :

- **6 banques d'enregistrements.**
- **3portes d'embarquements.**

Par ailleurs, l'aéroport d'Alger est équipé d'un << pavillon d'honneur >>, permettant la réception de chefs d'états et autres responsables politiques de tous pays lors de leurs déplacements aéroportés. **[74]**

- **Le Terminal 4 (aérogare ouest) :**

La première pierre du nouveau terminal de l'aéroport d'Alger a été posée en octobre 2014, son ouverture prévue dans environ 27 mois permettre l'accueil de 10 millions de passagers supplémentaires par an. **[74]**

Le nouveau terminal d'une superficie de 73 hectares, situé dans la partie ouest de l'actuel (entre le T1 et le salon d'honneur). **[74]**

L'aérogare ouest il dispose de :

- 120 points d'enregistrement
- 84 guichets de contrôle



Fig.III.II.2 : vue de la nouvelle aérogare ouest.

3. Voies de circulation :

Les pistes sont reliées entre elles et aux aires de stationnement par des taxiways destinés aux avions et parfois des voies de service plus étroites réservées aux véhicules de service et de secours (pompiers). Lorsque l'aéroport est d'une dimension telle que le parcours entre les pistes et le parking nécessite de suivre un trajet précis, un véhicule spécial (dit follow-me) peut venir précéder l'avion pour le guider.

Les voies de circulation sont des voies délimitées qui permettre aux appareils de se déplacer entre les parkings et les pistes.

Elles sont généralement construites en bitume ou composées de plaques de béton et sont repérables par une signalisation de couleur jaune (avec des lumières de couleur bleue) pour les distinguer des pistes qui sont, elles, balisées de blanc.

- **Voies de circulations reliant la piste (05/23) :**
  - Largeur : 25m.
  - Type de surface : Béton bitumineux.
  - Résistance : 43T/SIWL.
- **Voies de circulations reliant la piste (09/27) :**
  - Largeur : 25m.
  - Type de surface : Béton bitumineux.
  - Résistance : 45T/SIWL/sauf (A9, H5, I3, I4) : 74 F/D/W/T. **[74]**

4. Les aires de stationnement :

Les aires de stationnement, ou parkings (parfois encore appelés tarmacs) sont les parties de l'aéroport ou les avions séjournent, que ce soit pour le transbordement des passagers et du fret ou pour l'entretien.

Le tableau si dessous comprend les différentes caractéristiques des postes de stationnements de l'aéroport d'Alger, en ce qui concerne la résistance elle est de : 27T/SIWL-32T/J-62,5T/B pour le P2, P2, P5. **[74]**

Tab.III.II.4 : Caractéristiques des postes de stationnement de l'aéroport D'Alger

Identification du parking	Nature de la surface	Postes de stationnements
P1	Asphalte	09 postes B727
P2 Gros porteurs	Béton bitumineux	02 postes B 747 01 poste A300
P2 Moyens porteurs	Béton bitumineux	03 postes A300 01 poste B 727
P5	Asphalte	03 postes A310 : N° E9, E10, E11 03 postes ATR 42/72 : N° E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E12
P10	Béton bitumineux 65 R/B/W/T	CAT C : N° W3A, W3C, W4, W5, W6, W8, W9 ,W10A, W10C, CAT D : N° W1, W2, W11A, W12 CAT E : N° W3B, W7 , W10B,W11B
P11	Béton bitumineux 74 F/D/W/T	01 Poste

5. Les infrastructures liées à la sécurité :

La sécurité vise à éviter les accidents involontaires susceptibles de causer des préjudices aux biens et aux personnes. C'est une préoccupation primordiale en ce qui concerne les aéroports.

C'est pourquoi les services suivants opèrent au sien de l'aéroport d'Alger :

- Le service de lutte contre le risque aviaire.
- Le service de maintenance des pistes.
- Le service de sécurité (police, douane, …).

Par ailleurs, afin de répondre aux normes de **l'OACI,** chaque aéroport possède un service de sauvetage et de lutte contre l'incendie des aéronefs (SSLIA), qui dispose de véhicules de lutte contre l'incendie spécifique aux aéroports mis en œuvre par des pompiers d'aérodrome. En particulier, l'objectif opérationnel de ce service est d'obtenir un délai maximum de trois minutes entre une alerte et l'arrivée des premiers engins pour une intervention d'un service de lutte contre les incendies de catégorie 9. **[72]**

6. Organismes de la circulation aérienne :

- La tour de contrôle de fréquence 119.7-119.7 (s).
- Le contrôle d'approche de fréquence 121.4-120.8 (s).

7. Autres infrastructures :

L'aéroport dispose en outre :

- D'une aire d'atterrissage d'hélicoptères.
- D'une zone de fret.
- D'une zone de hangars pour la maintenance des avions.
- D'une zone d'activités aéroportuaires telle que des bureaux de la compagnie aérienne nationale.

III. Caractéristiques géométriques de l'aérodrome :

1. La piste principale 05/23 :

La piste 05/23 a une longueur de 3500 m et 60 m de largeur, avec des accotements qui sont élargis à 8 m de largeur de part et d'autre de la piste (initialement 5.5m).

Elle est dotée de caniveaux fendus (couverts et roulables) aux bords de la chaussée de la piste (à 30 m de l'axe de la piste) aves des regards de visite chaque 100 m, et des bandes nivelées et compactées de largeurs de 37 m de part et d'autre de la chaussée de la piste (ces bandes ont fait l'objet d'un nivellement et d'un compactage sur tout le long de la piste 05/23), des bandes dégagé de largeur de 65m de part et d'autre de la chaussée (donc la piste s'inscrit dans une bande totale de 280 m) et d'une RESA de 90×120 m et d'une bande d'avant seuil non roulable de 60×150 m du coté seuil 23, les travaux d'aménagement de la RESA et de la bande d'avant seuil du coté seuil 05 sont en cours.

La RESA et la bande d'avant seuil sont dotées d'un corps de chaussée de 10 cm en BB et 40 cm de GNT, se caractérisant par une portance CBR supérieure à 15 (E=118,4 MPA).

La construction de la piste 05/23 a été faite en deux phases : entre le PK 0+000 (seuil 05) et 2+428 la chaussée origine était en dalles de béton précontraint de 18 cm d'épaisseur ; et entre les pks 2+428 et 3+500 la chaussée était en dalle de béton de 37 cm d'épaisseur.

La piste 05/23 est doté de deux joints métalliques, le premier est situé au début de la piste (au niveau du seuil 05) et le deuxième au pk 2+428 (au niveau de l'interface entre les dalles précontraintes et les dalles en béton hydrauliques).

2. **Bretelles D1, E1 et F1 :**

Ces bretelles correspondent au taxiway 05/23 entre les pks 0+000 et 2+400.

Le taxiway se connecte aux bretelles d'accès à la piste C3, D2, D4, E2 et F2, à la bretelle C2, qui donne accès au parking et aux bretelles D3 et E3 que donnent accès au parking P5 (GLAM2), Il se prolonge par le G1 jusqu'au seuil 23 de la piste.

Le premier tronçon du taxiway 05/23 est désigné D1 et s'étend du chemin de roulement C3 (accès au seuil 05 de la piste) au chemin de roulement E1. Il a une largeur de 25 m avec des accotements de 9,5 m de largeur.

Le deuxième tronçon du taxiway 05/23 est désigné E1 et s'étend entre les chemins de roulement D1 et F1. Il a une largeur de 25m avec des accotements de 9,5 m de largeur.

Le troisième tronçon du chemin de roulement est désigné F1. Il a une largeur de 25m des accotements qui sont élargis à 17,5m de largeur.

3. **Bretelle C2 C4 :**

La bretelle C2 connecte les chemins de roulement C4 et C3, donnant aussi accès au parking P3. Les trois bretelles sont en alignement.

Cette bretelle est en chaussée souple, a une largeur de 25 m, avec des accotements en chaussée souple de 9,5 m de largeur.

4. **Bretelle D3 :**

La bretelle D3 connecte le parking GLAM2 avec le chemin de roulement parallèle à la piste. Il a une largeur variable 18m sur la plupart de la longueur, des accotements de 9,5m de largeur et la chaussée en enrobé bitumineux.

5. **Les bretelles d'accès à la piste 05/23 :**

- **Bretelle C3 :**

Cette bretelle se connecte au seuil 05 de la piste faisant un angle de 71° a une longueur de 307,6 m et 25 m de largeur, avec des accotements de 9,5 m de largeur.

- **Bretelle D2 :**

Cette bretelle se connecte à la piste à 993m du seuil 05 de la piste faisant un angle de 90° a une longueur de 300m et 25m de largeur, avec des accotements de 9,5m de largeur.

- **Bretelle E2 :**

Cette bretelle se connecte à la piste à 1740m du seuil 05 de la piste faisant un angle de 90° a une longueur de 300m et 25m de largeur, avec des accotements de 9,5 m de largeur.

- **Bretelle F2 :**

Cette bretelle se connecte a la piste à 2518m du seuil 05 de la piste faisant un angle de 90° a une longueur de 300m et 25m de largeur, avec des accotements de 9,5 m de largeur.

- **Bretelle G1 :**

Le bretelle G1, entre le seuil 23 de la piste et le chemin de roulement F1, correspond au tronçon nord-est du chemin de roulement parallèle à la piste. Il a une largeur de 25m, des accotements qui sont élargis à 17,5m de largeur.

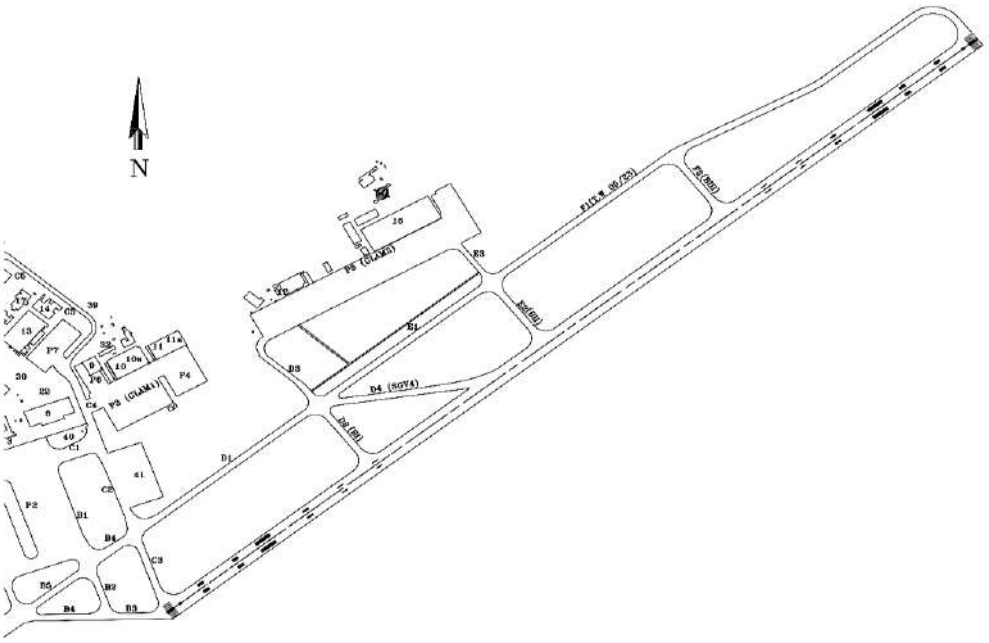


Fig.III.III.5 : Plan général de la zone d'intervention

Chapitre IV :
Etude géotechnique et auscultation de la chaussée sur la piste d'aérodrome d'Alger

Chapitre IV : Etude géotechnique et auscultation de la chaussée sur la piste d'aérodrome d'Alger

I. INTRODUCTION :

La présente étude consiste à mesurer les épaisseurs réelles du corps de chaussée et évaluer la qualité des matériaux prélevés, en comparant leurs caractéristiques géotechniques et mécaniques par rapport aux spécifications en vigueur et par rapport au Guide des terrassements routiers (GTR) de LCPC SETRA 2000.

Les buts poursuivis lors de cette compagne de reconnaissance se résument suit :

- Définition de la nature du sous-sol ;
- Le relevé de niveau d'eau en cours de sondages.

Les différentes étapes de l'étude sont :

- ✓ Les mesures des épaisseurs de différentes couches rencontrées ;
- ✓ La description sommaire de différentes couches rencontrées ;
- ✓ La mesure de la teneur en eau naturelle ;
- ✓ L'identification des matériaux ;
- ✓ Interprétations des résultats ;
- ✓ Classification du matériau selon Guide de terrassements routier (GTR) de LCPC SETRA 2000 ;
- ✓ Etablissement des conclusions.

II. Reconnaissance de site :

1. Situation géographique :

Les coordonnées géographiques de l'aérodrome sont :

- Latitude : 36°41'40'' Nord
- Longitude : 3°13'01'' Est

Les coordonnées géographiques de la piste principale 05/23 sont comme suit :

Seuil 05 :

- Latitude : 36°41'37,95794'' Nord
- Longitude : 3°13'12,74811'' Est

Seuil 23 :

- Latitude : 36°42'46,55910'' Nord
- Longitude : 3°15'5,17918'' Est

2. Géologie du site :

D'après la carte de centre d'Algérie à $1/500000^{eme}$,les formations susceptibles d'être rencontrées sur site sont :

- Recouvrement quaternaire supérieur des Argiles marécageuses et d'alluvions provenant de terrasses d'érosion.
- Des formations argilo-marneux terminales miocènes qui viennent immédiatement au-dessus des alternances marno-calcaires du crétacé supérieur.

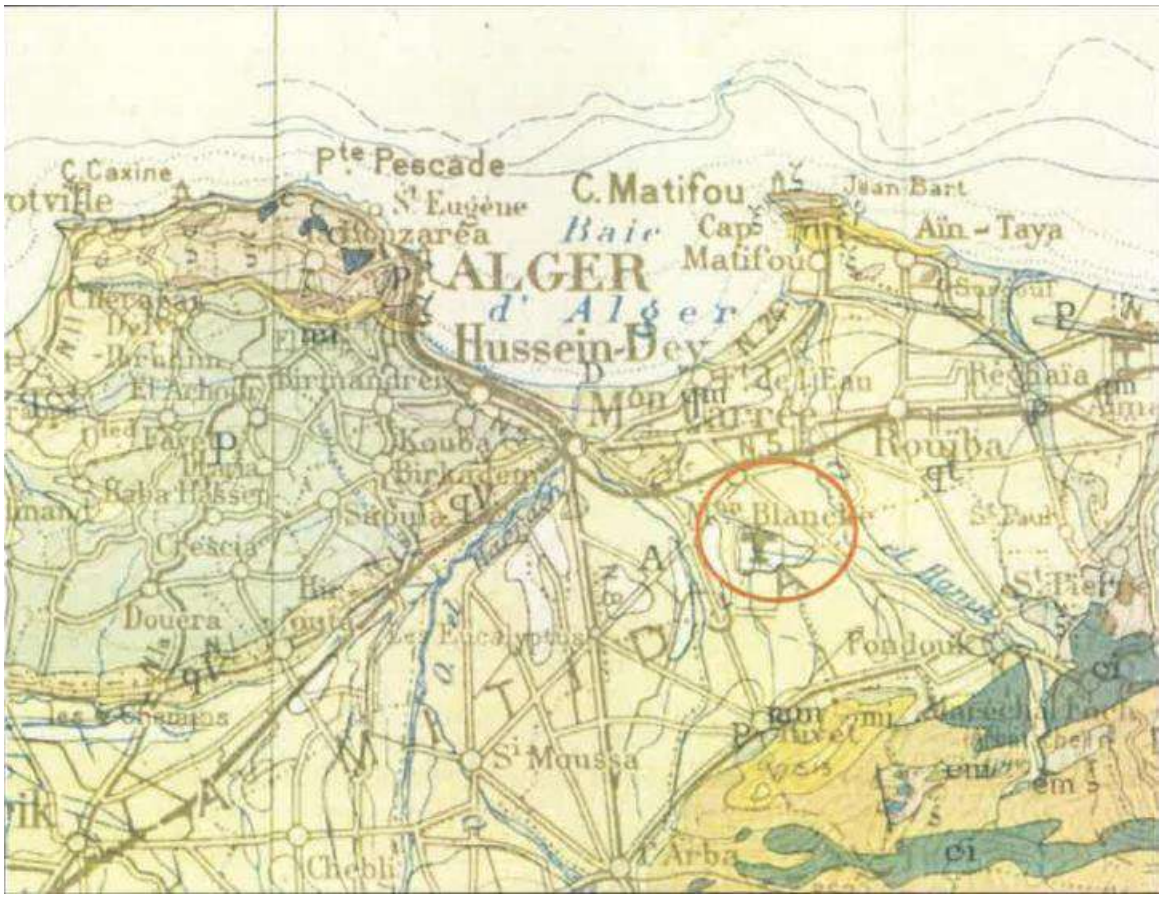


Fig.IV.II.2 : Extrait de la carte géologique de centre d'Algérie à $1/500000^{eme}$

III. Etude de laboratoire :

1. Sondages carottés :

Afin de déterminer l'état des carottes et les épaisseurs réelles mises en place, dix sondages carottés ont été réalisés sur la piste principale et ses annexes.

1.1. Localisation des sondages carottés :

La localisation des carottes est indiquée dans le tableau suivant :

Tab.IV.III.1.1 : Localisation des sondages carottés.

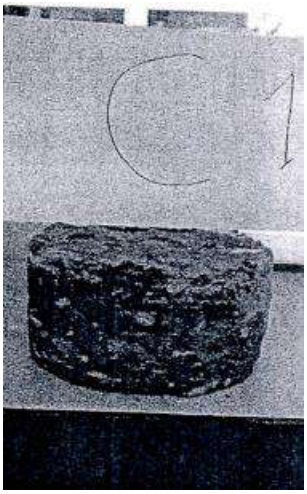
Carotte 01	**36 42 4,79 N**	**3 13 2,09 E**
Carotte 02	36 41 55,61 N	3 13 5,61 E
Carotte 03	36 42 3,37 N	3 13 36,40 E
Carotte 04	36 42 4,37 N	3 13 44,88 E
Carotte 05	36 42 32,21 N	3 14 23,49 E
Carotte 06	36 41 51,29 N	3 13 36,07 E
Carotte 07	36 42 8,48 N	3 14 33,21 E
Carotte 08	36 42 26,09 N	3 14 33,21 E
Carotte 09	36 41 52,92 N	3 13 17 ,18 E
Carotte 10	36 42 20,63 N	3 13 45,94 E



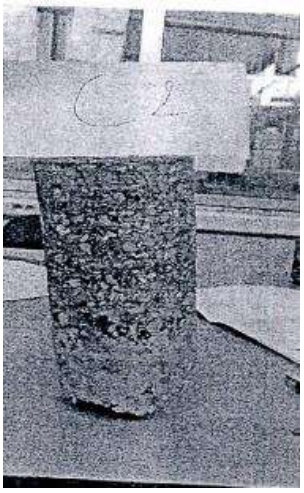
Fig.IV.III.1.1 : Implantation des carottes.

1.2. Etat visuel et épaisseurs des carottes :

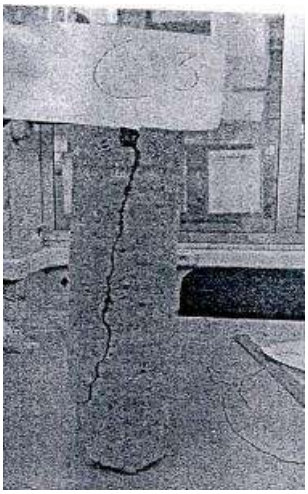
Les carottes extraites présentent un état moyen en termes d'homogénéité du matériau et la présence de vide sur les parois.



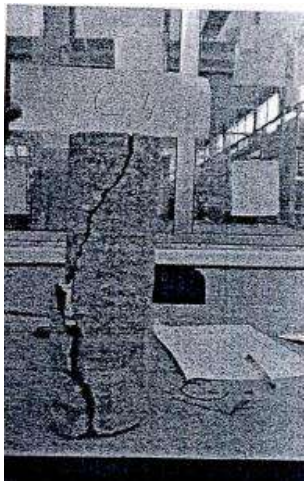
Carotte 01



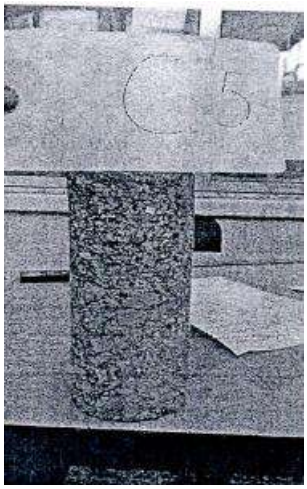
Carotte 02



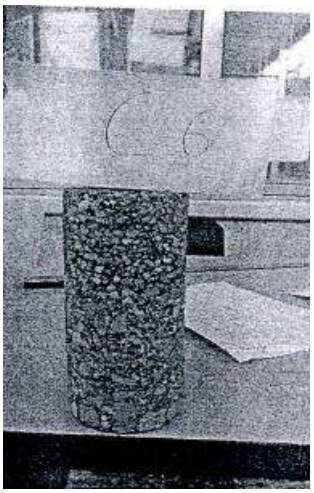
Carotte 03



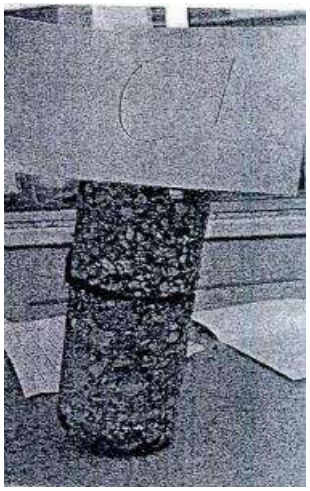
Carotte 04



Carotte 05



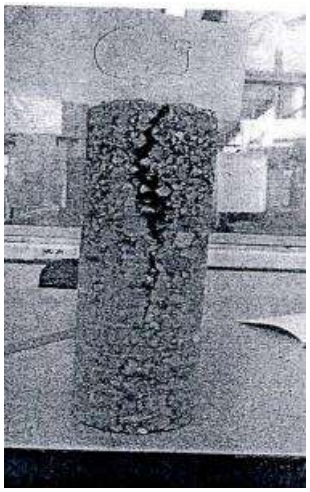
Carotte 06



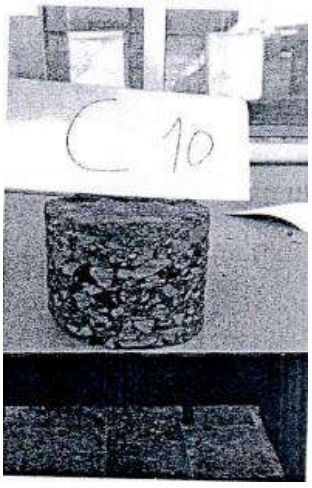
Carotte 07



Carotte 08



Carotte 09



Carotte 10

1.3. Epaisseur des carottes :

Les épaisseurs moyennes mesurées sur ces carottes et qui définissent les épaisseurs réellement existantes in situ, sont regroupées dans le tableau 2 :

Tab.IV.III.1.2 : Epaisseurs des carottes.

Carotte N°	Couche N°	Matériau	Epaisseur Moyenne	Etat des carottes
Carotte 01	**1er**	Enrobé	5,3	-état bon de carotte. -les interfaces sont collées.
Carotte 02	**1er**	Enrobé	10,8	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont collées.
	2ème		6,4	
Carotte 03	**1er**	Béton ciment	37,1	-Carotte fissurée sur toute l'épaisseur.
Carotte 04	**1er**	Béton ciment	37,1	-Carotte fissurée sur toute l'épaisseur.
Carotte 05	**1er**	Enrobé	8,8	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont collées.
	2ème		12,8	
Carotte 06	**1er**	Enrobé	7,7	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont collées.
	2ème		13,4	
Carotte 07	**1er**	Enrobé	8,4	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont décollées.
	2ème		13,3	
Carotte 08	**1er**	Enrobé	8,8	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont collées.
	2ème		12,9	
Carotte 09	**1er**	Enrobé	8,2	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont collées. -carotte fissurée sur toute l'épaisseur.
	2ème		18,3	
Carotte 10	**1er**	Enrobé	8,2	-présence des vides sur la paroi -Les interfaces sont collées.

Commentaire :

D'après les résultats du tableau précèdent, on constate que :

1/ L'épaisseur de l'enrobé bitumineux varie de 5,4 cm à 27,1 cm, cependant l'épaisseur de béton ciment est de l'ordre de 37,1 cm.

2/ L'examen visuel des échantillons de carotte, extraits de la chaussée, a permis de constater que :

- Les carottes présentent des vides sur la paroi, à l'exception de la carotte N°01 ou la carotte est en bonne état.
- Les carottes présentent un bon collage au niveau des interfaces entre les couches de l'enrobé excepté la carotte N°07 qui laisse apparaitre un décollement entre les deux couches.
- Une fissure longitudinale sur toute l'épaisseur remarquée sur la carotte N°03, 04 et 09

2. Les puits :

Les puits permettent de définir :

- Les épaisseurs des différentes couches de sol rencontrées ;
- La nature et la qualité du sol prélevé.

2.1. Localisation des puits :

La localisation puits est donnée dans le tableau suivant :

Tab.IV.III.2.1 : Localisation des puits.

Puits 01	**36 42 1,42 N**	**3 13 5,34 E**
Puits 02	36 42 6,31 N	3 13 5,34 E
Puits 03	36 41 44,31 N	3 13 20,33 E
Puits 04	36 42 4,16 N	33 13 58,26 E
Puits 05	36 42 22,98 N	3 14 23,29 E
Puits 06	36 42 42,99 N	3 15 2,74 E
Puits 07	36 42 21,61 N	3 13 56,32 E
Puits 08	36 42 11,17 N	3 13 29,89 E
Puits 09	36 41 50,71 N	3 13 5,89 E
Puits 10	3 42 36,76 N	3 14 28,52 E

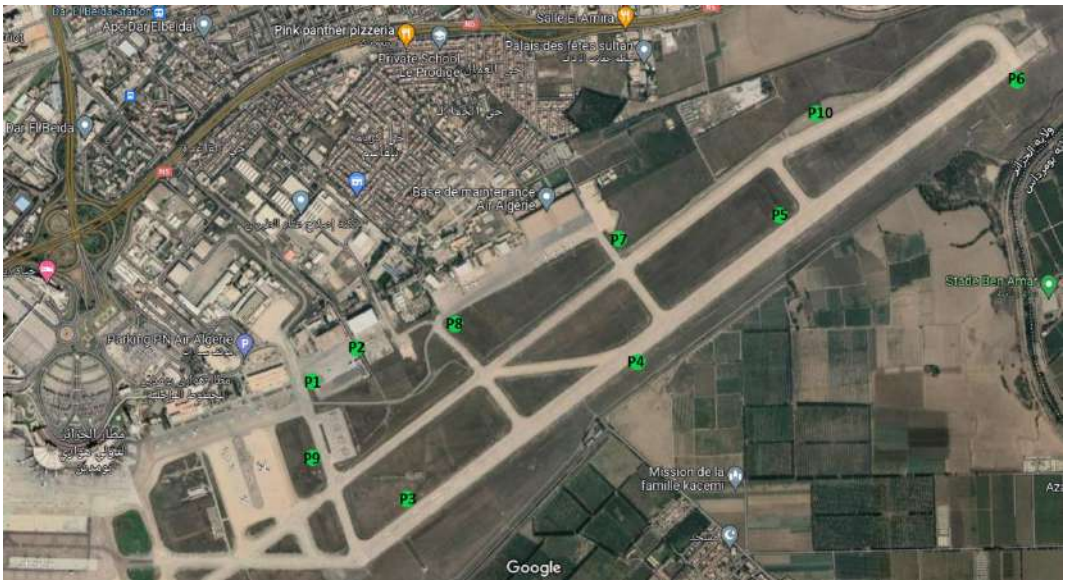
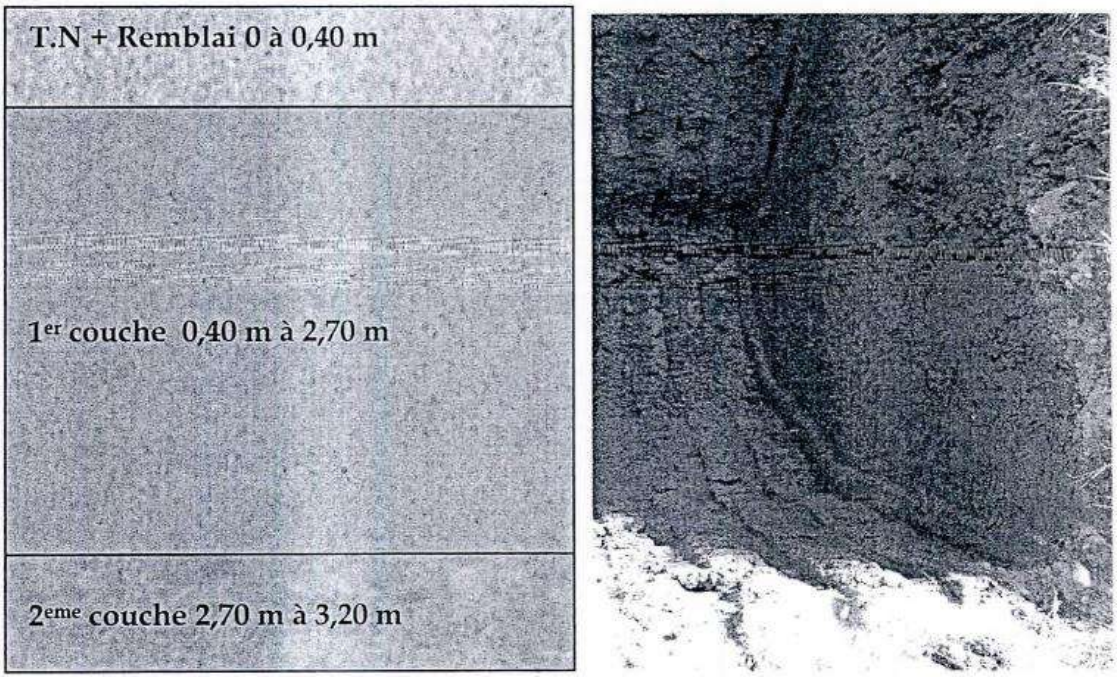


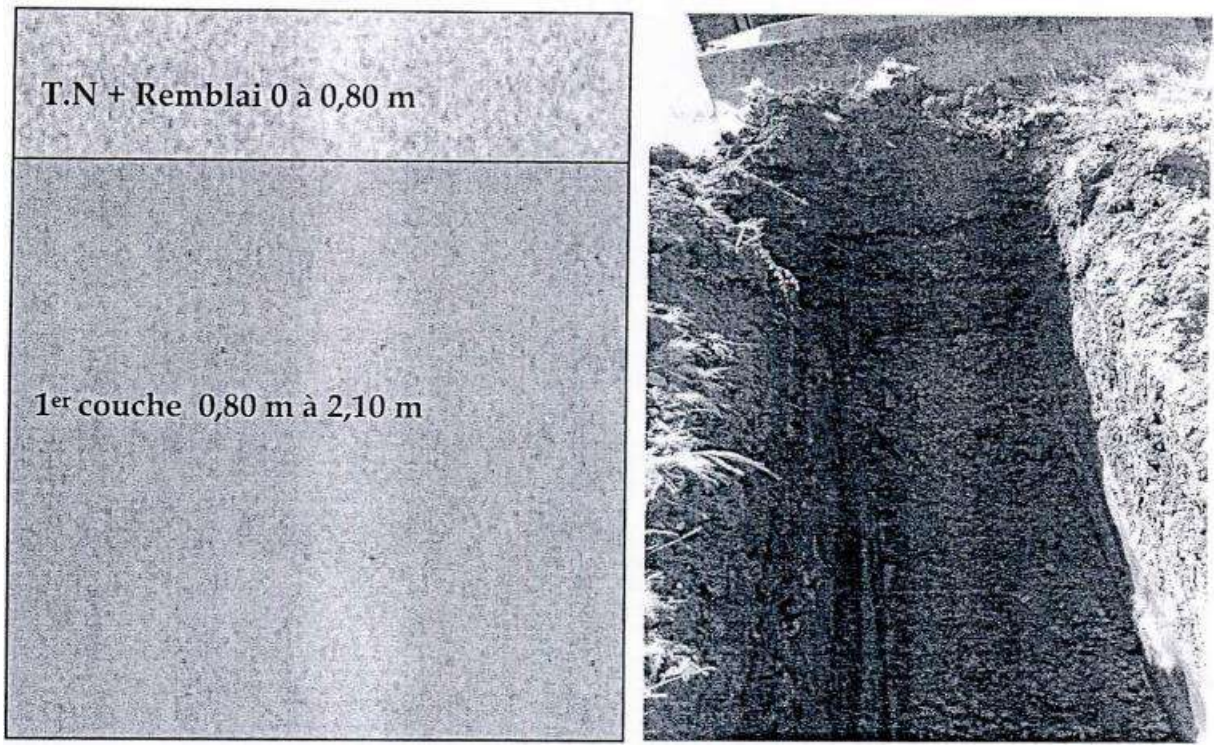
Fig.IV.III.2.1 : Implantation des puits.

2.2. Description sommaire des puits :

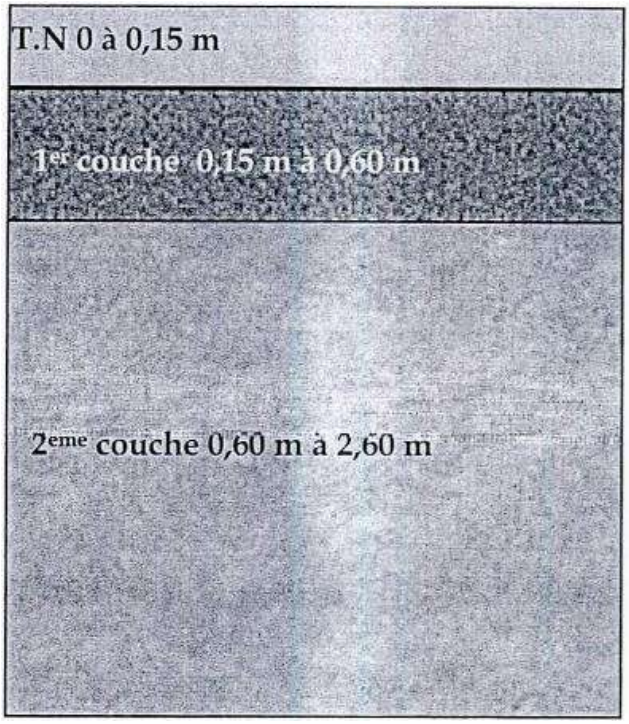
La description de la nature des matériaux prélevés sont données ci-après :

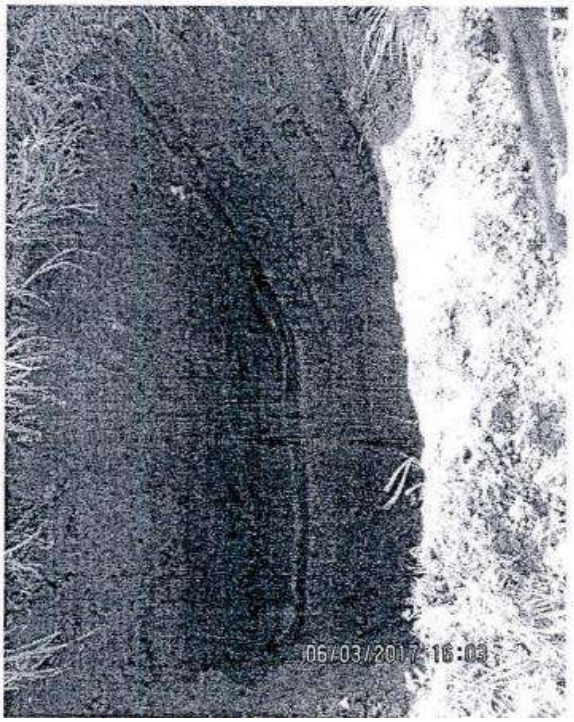


Puits 01

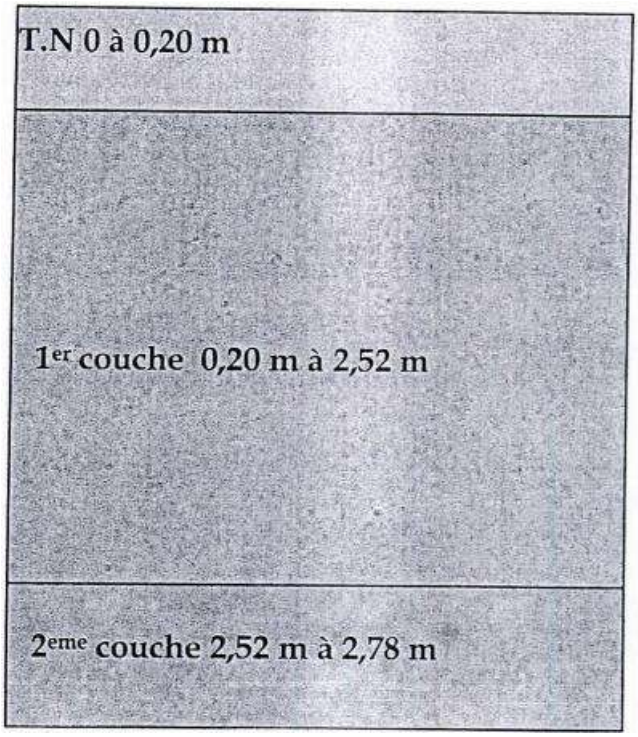


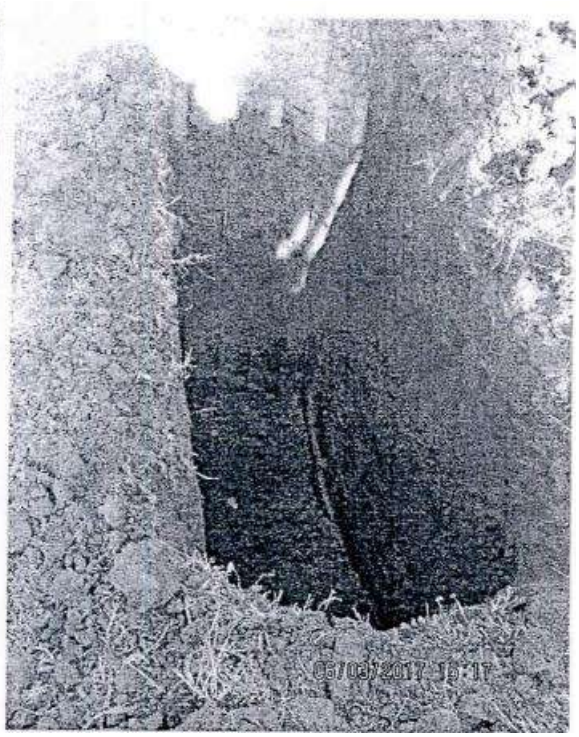
Puits 02



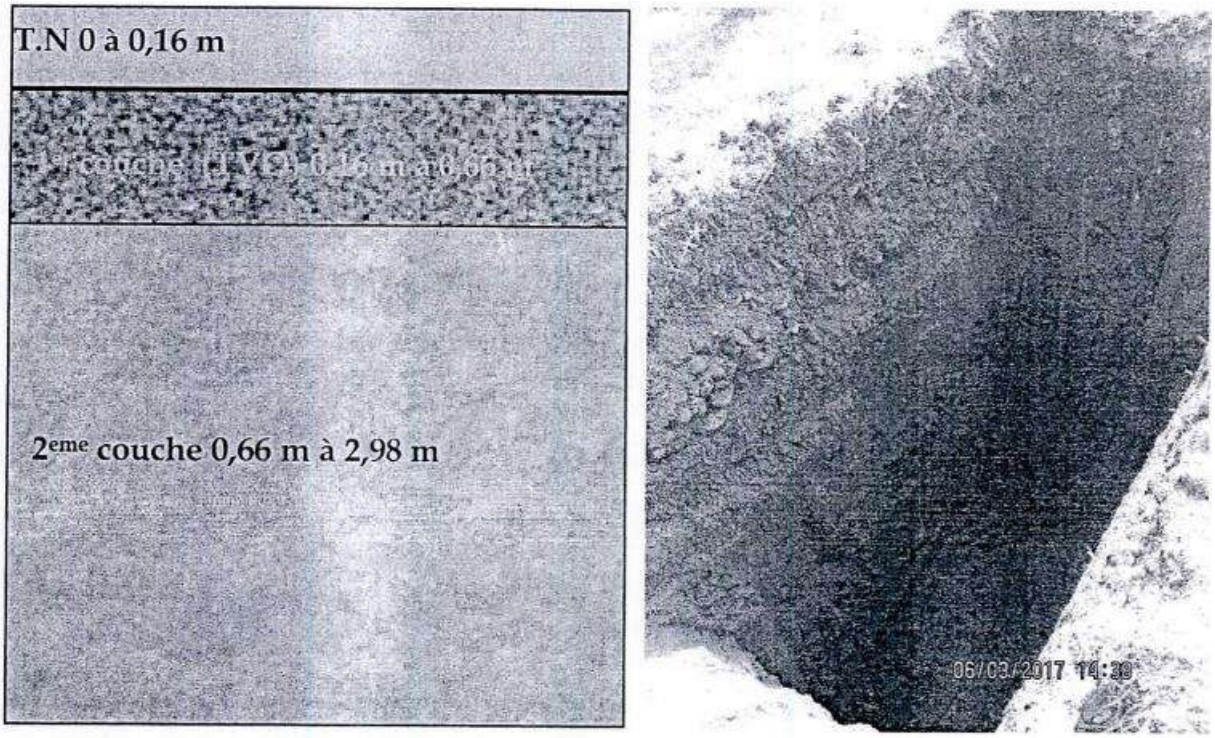


Puits 03

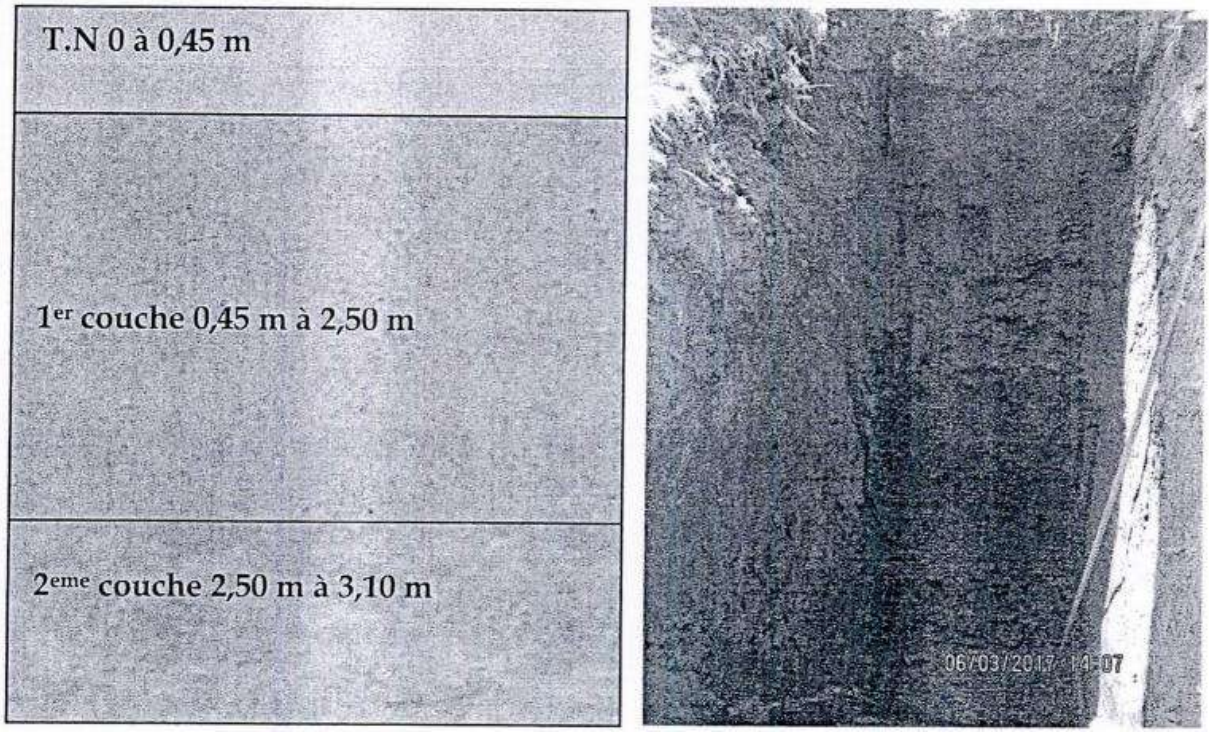




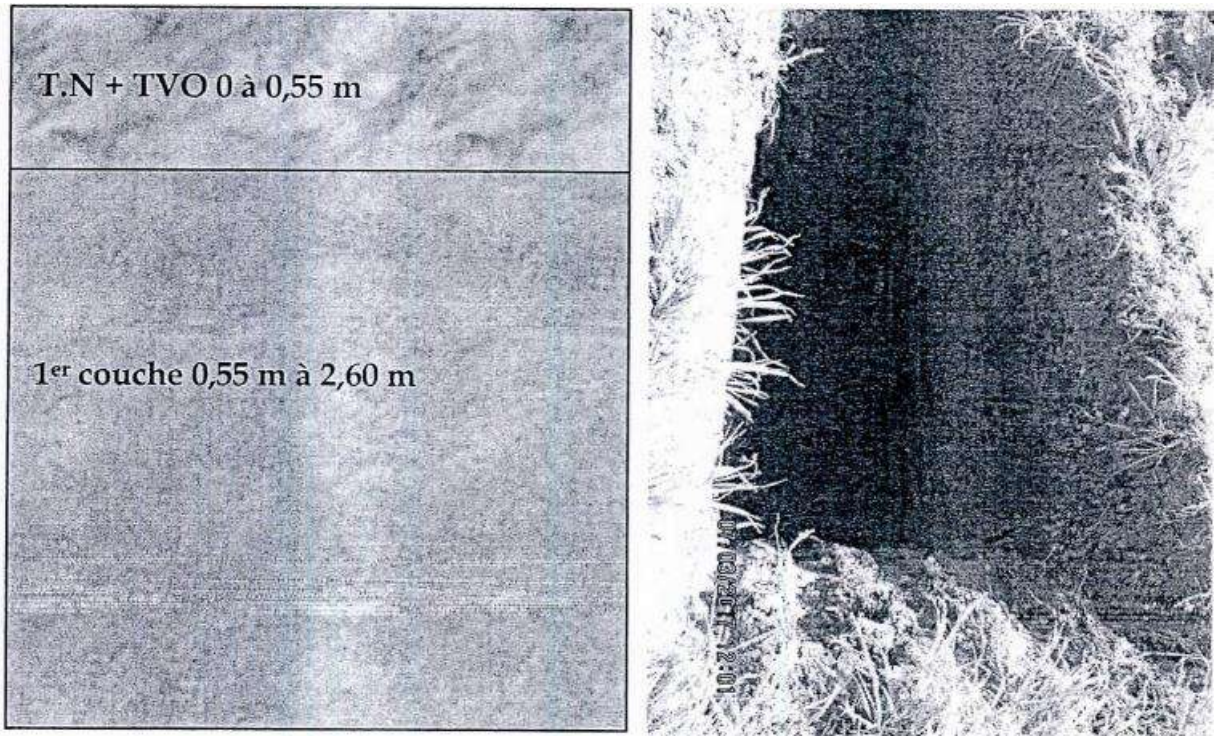
Puits 04



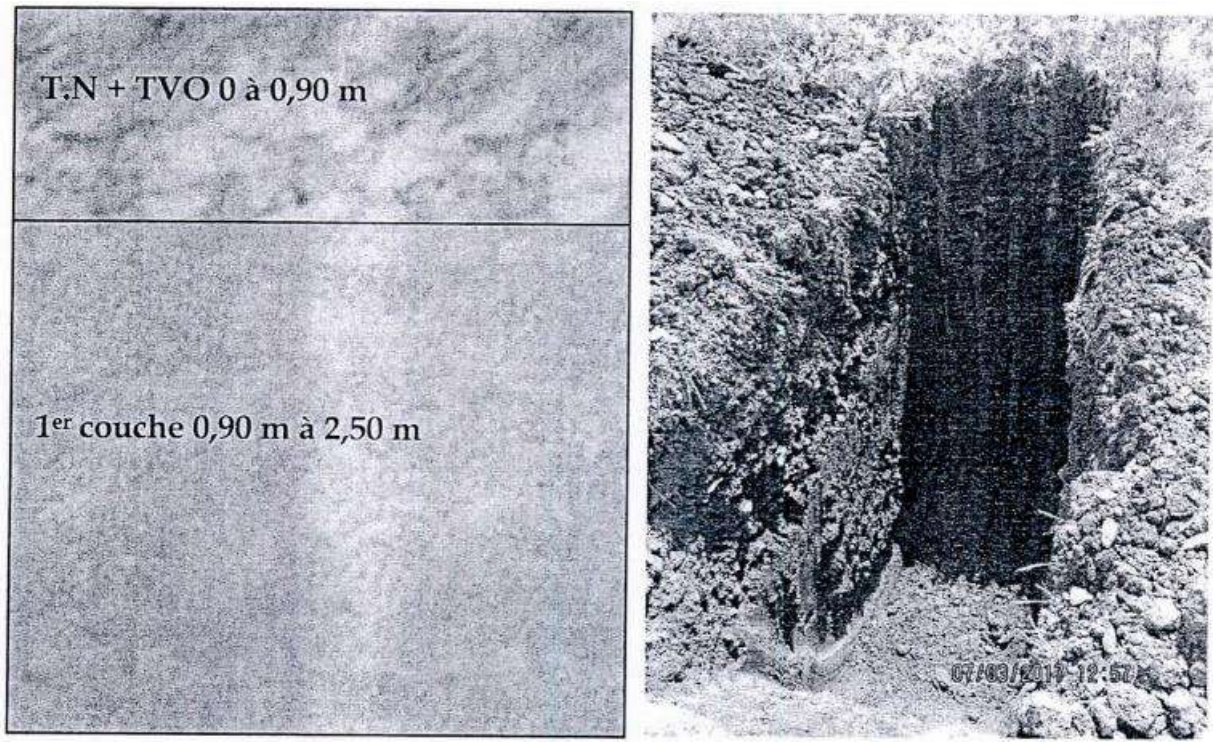
Puits 05



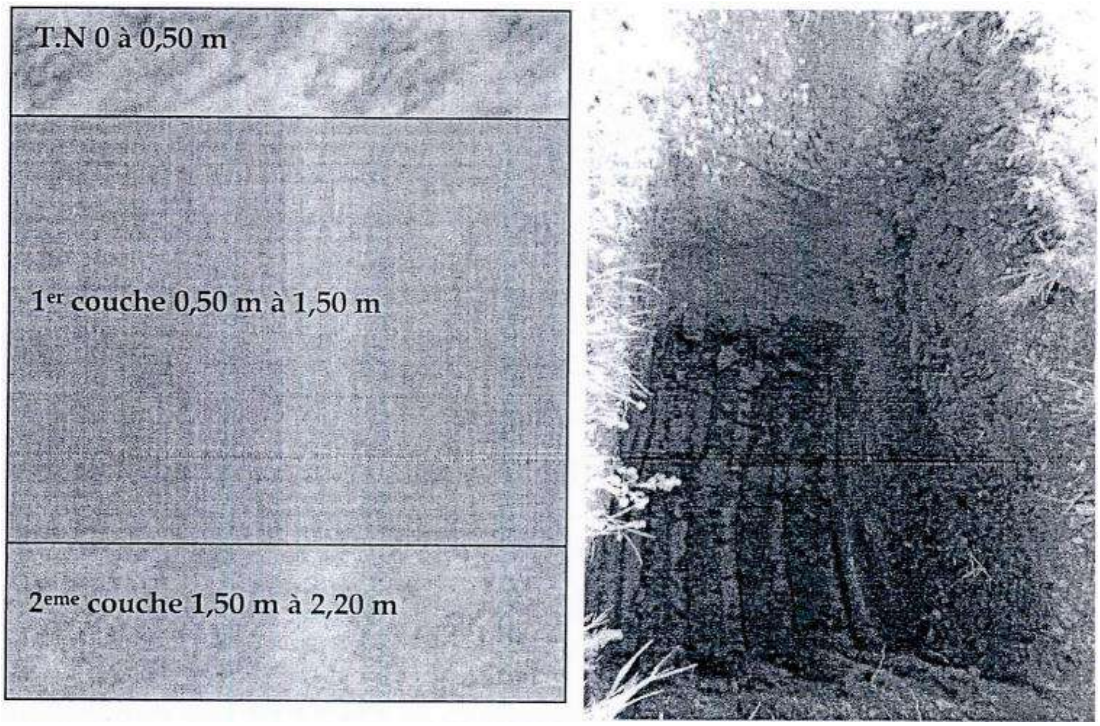
Puits 06



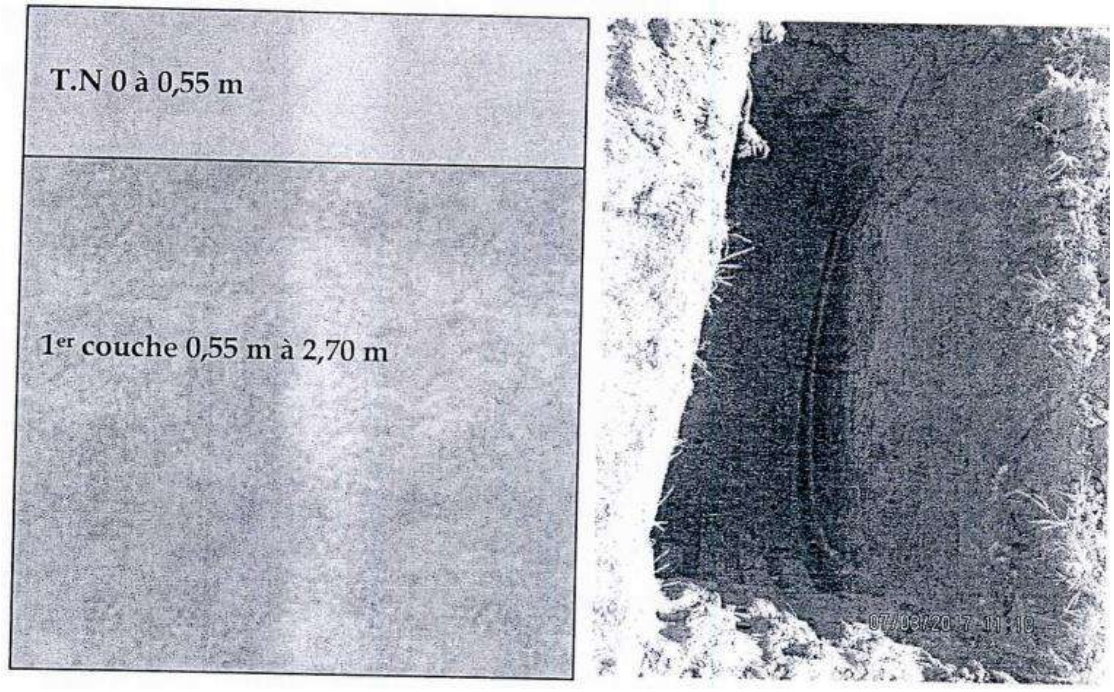
Puits 07



Puits 08



Puits 09



Puits 10

3. Résultats des d'identification des matériaux :

Afin de déterminer la nature ainsi que les caractéristiques géotechniques et mécaniques des matériaux prélevés, les essais suivants ont été réalisés :

- **Essais d'identification :**
  - Analyses granulométriques sur sol selon la norme NA 5232 ;
  - La teneur en eau naturelle selon la norme NA 5212 ;
  - Limites d'Atterberg (indice de plasticité Ip, limite de liquidité WL) selon la norme NA 16213 ;
  - Valeur au bleu de méthylène VBS selon la norme NA 5288.
- **Essais mécaniques :**
  - Essai CBR selon la norme NA 5252 ;
  - Essai Proctor modifié selon la norme NA 5262.

Les résultats des essais réalisés sur les matériaux prélevés dans le cadre de la présente étude, sont donnés dans les tableaux suivants :

Tab.IV.III.3 : Les résultats des essais.

Puits N°	Couche N°	Profondeur (m)	D, max	W, nat (%)	VBS (g/l)	Limites d'Atterberg (%)			Proctor Modifié		Essais CBR (%)	
						Wp	**WL**	**Ip**	**Wopm (%)**	**γmax (T/m3)**	**Gonf**	**CBR**
1	**1er**	1,45	0,08 mm	****	2	19,11	54 ;21	35,1	1,75	15,6	0,019	3,62
	2ème	3,2	0,08 mm	23	2,33	21,11	54,84	33,73	1,89	12,1	Matériaux Insuffisant	
2	**1er**	1,8	0,08 mm	16	1,9	21,21	54,89	33,68	1,84	13,4	0 ;025	3,44
3	**1er**	1,1	0,08 mm	18	1,83	23,28	51,53	25,25	1,87	12	0,029	3,44
4	**1er**	1	0,08 mm	****	0,66	19,77	31,2	11,43	1,95	11,5	0,018	8,96
	2ème	3	0,08 mm	20	2	16 ;82	35,12	18,3	1,88	11,8	0,043	3,62
5	**1er**	0,45	50 mm	****	0,15	17,42	25,48	8,06	****	****	****	****
	2ème	1	0,08 mm	21	1,16	19,14	34,49	15,35	1,83	12,3	0,011	5,98
6	**1er**	0,45	0,08 mm	****	1,33	20,18	39,9	19,72	1,95	9,40	0,020	7,79
	2ème	2,5	0,08 mm	17	1,33	17,8	33,14	15,34	1,89	13,7	0,011	6,7
7	**1er**	1,5	0,08 mm	21	1	18,37	37,55	19,18	1,88	13,3	0,005	3,26
8	**1er**	1,6	0,08 mm	25	1,33	22,15	33,3	11,15	1,93	11,3	0,008	1,63
9	**1er**	1,4	0,08 mm	****	3,5	****	****	****	****	****	****	****
	2ème	2,1	0,08 mm	23		27,47	53,7	26,23	1,79	13,9	0,054	3,53
10	**1er**	1,45	0,08 mm	****	0,4	****	****	****	****	****	****	****
	2ème	1,7	0,08 mm	19	****	21,36	36,1	14,74	1,89	11,8	0,026	4,89

Commentaire :

1/ les matériaux du sol support sont caractérisés par un diamètre maximal de 0,08 mm à l'exception de puits N°05 (1er couche) ou le diamètre maximal est de 50 mm ;

2/ la teneur en eau naturelle varie entre 16% et 25% ;

3/ L'essai au bleu de Méthylène montre que les matériaux sont des sols sablo-limoneux, sols sablo-argileux ou des sols limoneux peu plastiques.

4/ Les matériaux analysés se caractérisent par un indice de plasticité variant de 11,15% à 35,1% ce qui montre que les sols sont moyennement argileux à très argileux.

5/ Les essais CBR ont été effectués, par poinçonnement après 04 jours d'imbibition, traitement considéré comme étant le cas le plus défavorable. Les résultats de l'indice portant montrent que le sol présente une faible portance.

4. Classification selon GTR :

Pour bien apprécier la nature du sol support, une classification selon le guide de terrassement routier GTR a été faite.

Le tableau suivant représente les différents paramètres entrants dans la classification du sol :

Tab.IV.III.4 : Classification du sol selon GTR.

Puits N°	Couche N°	Profondeur (m)	à 80µm (%)	VBS (g/l)	Ip (%)	CBR (%)	Classification
1	1er	1,45	100	2	35,1	3,62	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
	2ème	3,2	100	2,33	33,7	****	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
2	1er	1,8	100	1,9	33,68	3,44	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
3	1er	1,1	100	1,83	28,25	3,44	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
4	1er	1	100	0,66	11,43	8,96	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
	2ème	3	100	2	18,3	3,62	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
5	2ème	1	100	1,16	15,35	5,98	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
6	1er	0,45	100	1,33	19,72	7,79	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
	2ème	2,5	100	1,33	15,34	6,7	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
7	1er	1,5	100	1	19,18	3,26	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
8	1er	1,6	100	1,33	11,15	1,63	**A1 :** limons, peu plastiques, Sables fins peu pollués-
9	2ème	2,1	100	4,66	26,23	3,53	**A3 :** argile et argiles marneuses, limons très plastique
10	2ème	1,7	100	2,83	14,74	4,89	**A2 :** sable fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastique

Commentaire :

La combinaison des résultats de l'analyse granulométrique, l'indice de plasticité et la valeur au bleu méthylène a permis de classer ces matériaux selon la classification du GTR SETRA LCPC 2000 dans la classe << A >> sols fins, de sous classe :

- **A1 :** limons, peu plastiques, sables fins peu pollués.
- **A2 :** sable fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques.
- **A3 :** Argile et argiles marneuses, limons très plastiques.

IV. CONCLUSION :

A l'issue des résultats des essais effectués au laboratoire, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- **Les sondages carottés :**

1/ l'épaisseur de l'enrobé bitumineux varie de 5,4 cm à 27,1 cm, cependant l'épaisseur du béton de ciment est de l'ordre de 37,1 cm.

2/ l'examen visuel des échantillons de carottes, extraits de la chaussée, a permis de constater que :

- Les carottes présentent des vides sur la paroi, à l'exception de la carotte N°01 qui est en bonne état.
- Les carottes présentent un bon collage au niveau des interfaces entre les couches de l'enrobé excepté la carotte N°07 qui présente un décollement entre les deux couches.
- Une fissure longitudinale sur toute l'épaisseur remarquée sur la carotte N°03, 04 et 09.

- **Les puits :**

1/ Les matériaux du sol support sont caractérisés par un diamètre maximal de 0,08 mm à l'exception de puits N°05 (1er couche) ou le diamètre maximal est de 50 mm ;

2/ La teneur en eau naturelle varient entre 16% et 25% ;

3/ L'essai au bleu de Méthylène montre que les matériaux sont des sols sablo-limoneux, sols sablo-argileux ou des sols limoneux peu plastiques.

4/ Les matériaux analysés se caractérisent par un indice de plasticité varient entre 11,15% à 35,1% ce qui montre que les sols sont moyennement argileux à très argileux.

5/ Les essais CBR ont été effectués, par poinçonnement après 04 jours d'imbibition, traitement considéré comme étant le cas le plus défavorable. Les résultats de l'indice portant montre que le sol présente une faible portance.

6/ La combinaison des résultats de l'analyse granulométrique, l'indice de plasticité et la valeur au bleu méthylène a permis de classer ces matériaux selon la classification du GTR SETRA LCPC 2000 dans la classe << A >> sols fins, de sous classe :

- **A1 :** Limons, peu plastiques, sables fins peu pollués.
- **A2 :** Sable fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques.
- **A3 :** Argile et argiles marneuses, limons très plastiques.

V. Mesure automatique de la chaussée au Géoradar :

1. Introduction :

Une campagne géophysique au Géo Radar a été menée par le Laboratoire des Travaux Publics. Cette compagne est rentrée dans le cadre d'une reconnaissance de chaussée par méthode géo radar dans l'aéroport d'Alger-Houari Boumediene.

L'équipe géophysique de laboratoire des travaux publics procède à mesurer l'épaisseur de la couche bitumineuse le longue de la piste 05/23 sur plusieurs profils par rapport à l'axe de la piste (3, 6, 12 et 20m droite et gauche de la piste OS-NE).

L'intervention du l'équipe s'est résumée en :

- Visite et implantation des profils ;
- Réalisation des profils Géo Radar ;
- Traitement et analyse des données Géo Radar.

2. Traitement et interprétation :

Le traitement des radars grammes a été fait par un logiciel très performant (RADAN 6.6). Les épaisseurs mesurées sont présentées dans les diagrammes suivants :

❖ Épaisseur en cm, la distance en kilomètre (point kilométrique)

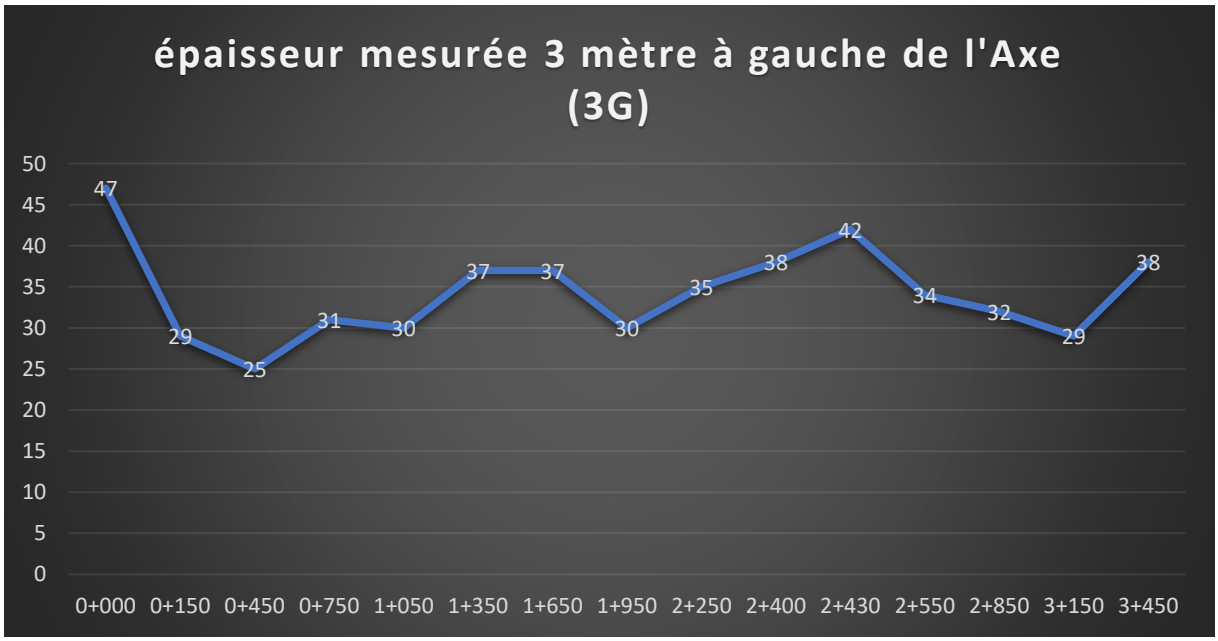


Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée 3 mètre à gauche de l'Axe (3G)

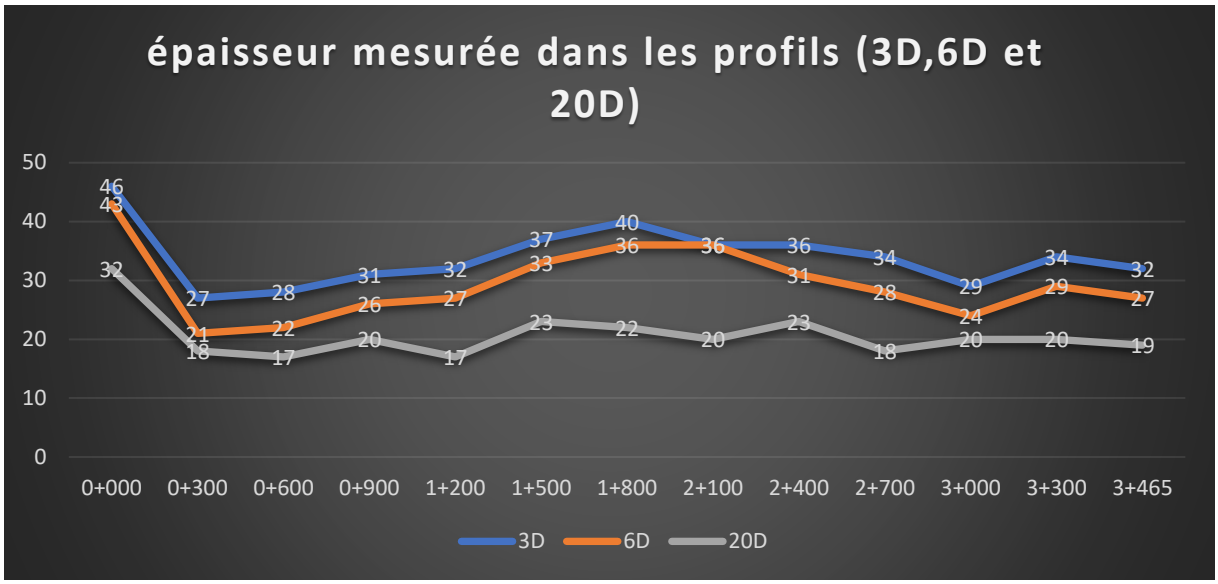


Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée dans les profils (3D,6D et 20D)

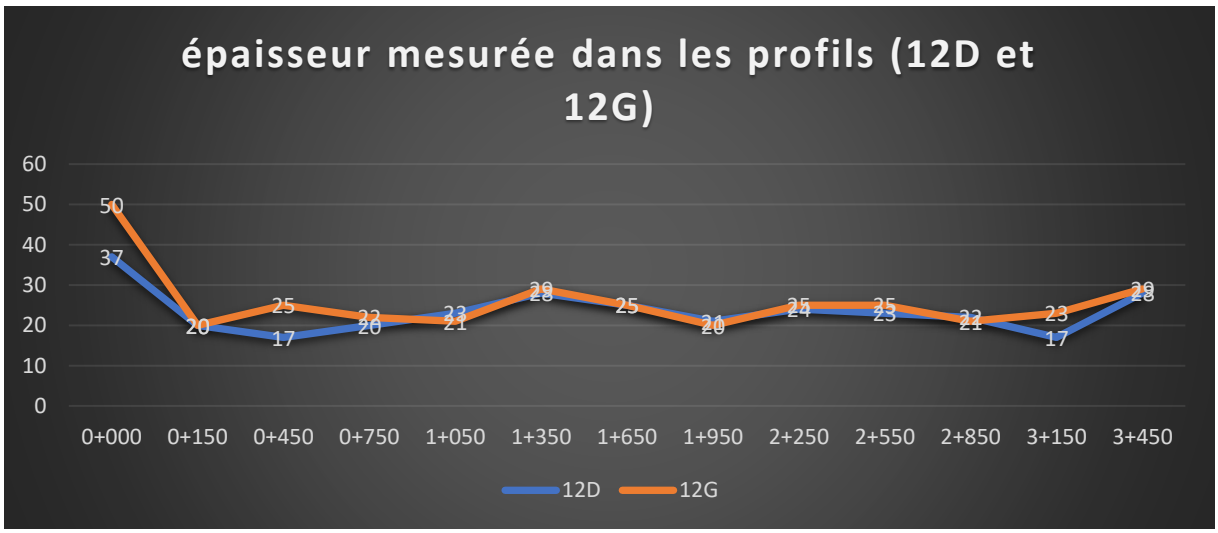


Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée dans les profils (12D et 12G)

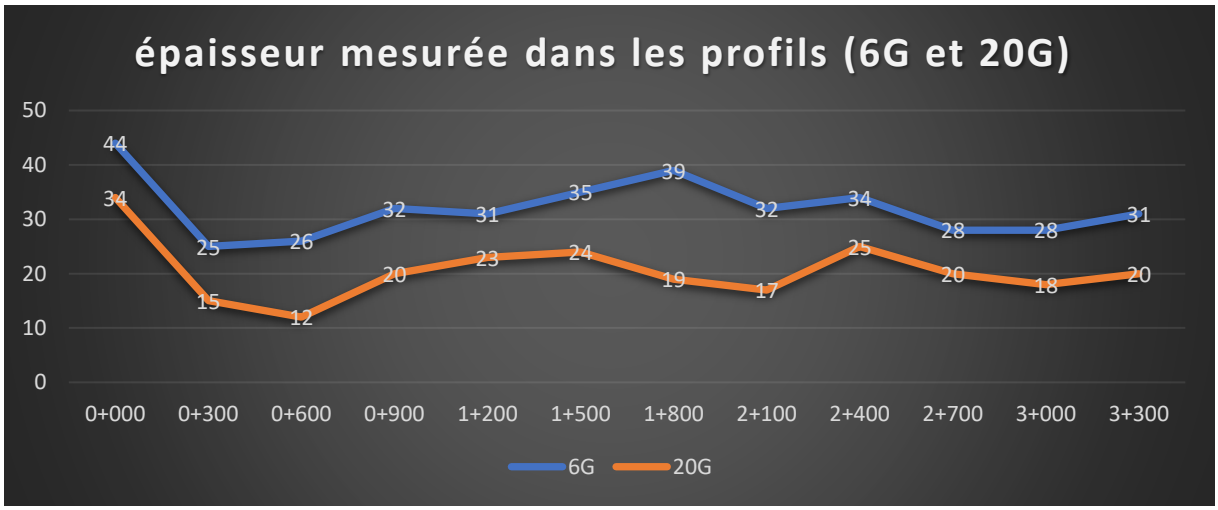


Fig.IV.V.2 : épaisseur mesurée dans les profils (6G et 20G)

VI. Relevé visuel des dégradations chaussée :

L'inspection visuelle de la piste principale 05/23 de l'aérodrome de Houari Boumediene a été effectuée sur le long de la piste d'atterrissage 3500 mètres à été ausculté par le laboratoire des travaux publics du sud (LTPS).

Ce relevé de dégradations montre que la surface de la piste est affectée généralement par :



Fig.IV.VI : Remontée d'eau et de fines



Fig. IV.VI : Fissures des joints d'épandage longitudinaux et transversaux De grandes ampleurs



Fig. IV.VI : Faïençages à maille large et à maille fines



Fig. IV.VI : dés enrobage



Fig. IV.VI : Départ des matériaux

(Ouverte progressive des fissures jusqu'au départ de matériaux, pelade)



Fig. IV.VI : Dépôt de gomme



Fig. IV.VI : Réparation ponctuelle dégradée

Suivant la nature et degré de l'état de la piste, on peut résumer les constatations obtenues comme suit :

Tab.IV.VI : l'état de la piste

Etats de chaussée	Les sections
Moyenne	De PM 0 à PM 300, de PM 3250 à PM 3500
Passable	De PM 300 à PM 1000
Passable à mauvais	De PM 1000 à PM 1900
Mauvais	De PM 1900 à PM 3250

Chapitre V : Dimensionnement et solutions de renforcement

Chapitre V : Dimensionnement et solutions de renforcement

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.

I. Analyse des résultats de l'essai HWD :

Suite à l'achèvement des travaux de renforcement de la piste principale 05/23 de l'aérodrome d'Alger, la portance de la chaussée a été déterminée par la méthode HWD, qui permet l'estimation de la déflexion mesurée en surface de la chaussée, et qui donnera par la suite les modules de rigidité des différentes couches constituant le corps de chaussée ainsi que la valeur du PCN. L'intervention a été effectué sur huit (8) profils répartis sur la bande axiale jusqu'à 20 m de part et d'autre de l'axe. L'analyse des résultats obtenus révèle que :

- Les déflexions moyennes enregistrées par le géophone central sont acceptables et très proches entre elles, de l'ordre de 300 µm dans l'ensemble, et voire 475 µm et 530 µm sur les profils 20d et 12d respectivement, ce qui dénote un comportement plus au moins homogène de la structure de chaussée de la piste.
- Les modules de surface E_0 présentent des valeurs moyennes qui varient de 1377 MPA à 2275 MPA, et sont inversement proportionnels aux déflexions, confirmant l'homogénéité de la structure de chaussée.

- Les couches traitées au liant hydrocarboné, sont caractérisées par des modules de rigidité acceptables, et qui varient de 6349 MPA à 12127 MPA mettant en évidence des enrobés bitumineux conformes reflétant la nature du matériau. La dalle en béton présente des modules variant de 18748 MPA à 31966 MPA, ces valeurs sont acceptables mettant en évidence de bonnes caractéristiques résiduelles des dalles malgré leurs âges qui dépasse 60 ans.

- La couche de fondation en matériaux non traitée montre des modules de rigidité qui varient entre 1109 MPA et 1509 MPA reflétant de très bonnes propriétés de portance et le sol

support de la chaussée présente de bonnes caractéristiques de portance avec des modules moyens de 84 MPA à 108 MPA reflétant des plates- formes de classe PF2.

II. Dimensionnement de renforcement de piste 05/23 :

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

Dans notre projet nous avons calculés le renforcement avec :

- La Méthode ACN/PCN

Le calcul de dimensionnement de renforcement de la piste principale 05/23 a été basé sur les hypothèses suivantes :

10 mouvements par jour de l'avion critique Boeing 747-400 pour une durée de vie de 10 ans.

Les caractéristiques de l'avion critique sont illustrées sur le tableau ci-après :

Tab.V.II : caractéristique de l'avion critique Boeing 747-400

Désignation	Valeur
Masse maximale au roulage	398000Kg
Masse maximale à vide	180000Kg
Pression pneumatique	1,38MPa
Longueur	71 m
Envergeure	64 m
Largeur hors tout du train principal	11 m

Et afin de pouvoir recevoir l'Airbus A380-800, les accotements de la piste principale 05/23 ont fait l'objet d'un élargissement de 2,5 m de part et d'autre de l'axe, pour rentrer dans la catégorie **F** conformément à la recommandation de l'annexe 14.

Les caractéristiques de l'Airbus A 380 sont illustrées sur le tableau ci-après :

Tab.V.II : caractéristique de l'Airbus A380

Désignation	Valeur
Masse maximale au roulage	575 000 Kg
Masse maximale à vide	369 000 Kg
Pression pneumatique	1,47 MPa
Longueur	72,57 m
Envergeure	79,75 m
Largeur hors tout du train principal	14,34 m

1. Calcul de ACN :

L'avion critique pour notre cas est l'A380-800, dont les caractéristiques sont résumées dans les tableaux suivants :



A380-800

Used with Elmod Design Used with PCN/ACN Required

General | Wheel | ACN Details

Select wheel by clicking the name

Wheel Name	Center wheel	Load %	Configu-ration	Wheel Distance	Axle Distance	Tread	Tire pressure	P/C Flexible	P/C Rigid
A380-800 Nose	Yes	4.95	··	1050			1.41	0	0
A380-800 Wing	No	38.05	·· ··	1350	1700	12456	1.503	1.84	3.68
A380-800 Body	No	57.00	·· ··	1530	1700	5264	1.5	1.42	4.23

Fig.V.II.1 : Les caractéristiques de Airbus A380 à partir logiciel ELMOD6

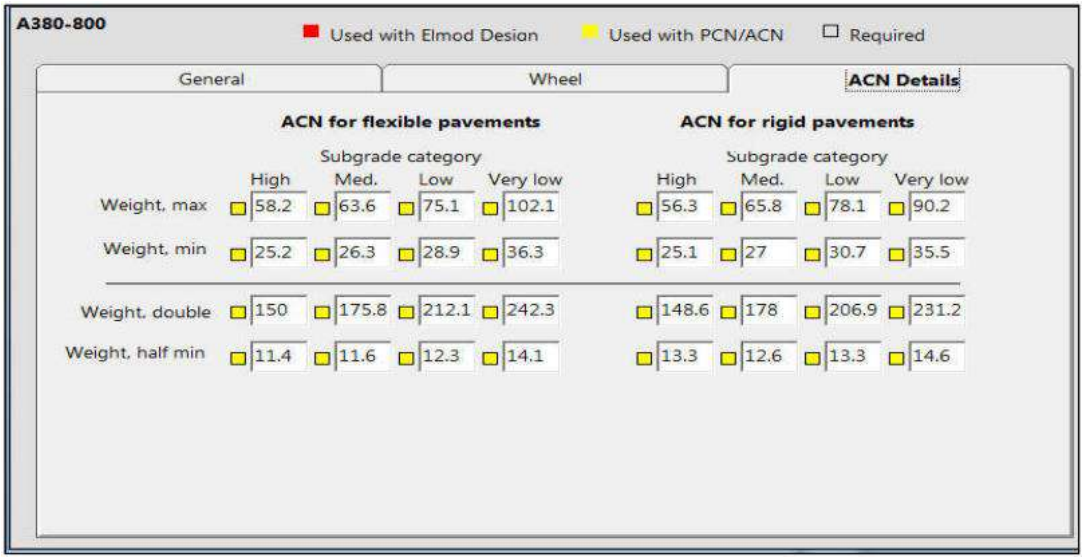


Fig.V.II.1 : L'ACN de l'avion A380 à partir logiciel ELMOD6

- L'ACN de Airbus A380 est 75.1.
- On trouve que l'ACN de Boeing 747-400 est 82.

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

- Résistance élevée CBR = 15 et représentant toutes les valeurs CBR supérieurs à 13 pour les chaussées souples

- Résistance moyenne CBR = 10 et représentant une gamme de valeurs CBR de 8 à 13 pour les chaussées souples

- Résistance faible CBR =6 représentants une gamme de valeurs CBR de4 à 8 Dour les chaussées souples,

- Résistance ultra faible CBR = 3 Représentant toutes les valeurs CBR inférieur à 4 pour les chaussées souples.

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

2. Calcul de PCN :

Le PCN est calculé par la méthode empirique qui tient compte de l'épaisseur équivalente totale de la chaussée et de la portance du sol support, en appliquant la formule suivante :

PCN = RSI x H (CBR)

RSI : Roue simple isolée en tonne.

H(CBR) : Coefficient en fonction du CBR et de la catégorie de résistance du sol

Support donné par l'abaque.

Il est important de noter que le corps de chaussée de la piste principale de l'aérodrome d'Alger est constitué de deux dalles différentes, à savoir :

- Une dalle précontrainte de 18 cm, du PK 0+000 au PK 2+428
- Une dalle en béton hydraulique de 37 cm, du PK 2+428 au PK 3+500

Les travaux de renforcement ont consisté au fraisage de la couche de roulement existante et la mise en œuvre d'une couche de reprofilage et un nouveau revêtement de 8 cm en béton bitumineux à module élevé. La couche de reprofilage est d'une épaisseur variable et de nature différente comme c'est illustré ci-après :

- Du PK 0+000 au PK 1+200 ; elle varie de 10 à 35 cm en enrobé à module élevé EME
- Du PK 1+200 au PK 3+500 ; elle varie de 8 à 10 cm e béton bitumineux à module élevé BBME.

Après les travaux de renforcement de la piste principale 05/23, la structure de chaussée est formée des couches suivantes :

- Couche de roulement de 8 cm de béton bitumineux à module élevé
- Couche de reprofilage de nature et d'épaisseur variable
- Dalle en béton
- Couche de forme de 50 de sable de ben mered (TVO)

Avant le calcul nous allons divisée la chaussée en trois sections comme suivant :

- **PK 1 :** 0+000 au 1+200 klm il y a une dalle précontrainte (18 cm)
- **PK 2 :** 1+200 au 2+428 klm il y a une dalle précontrainte (18 cm)
- **PK 3 :** 2+428 au 3+500 klm il y a une dalle en béton (37 cm)

a) Epaisseurs et coefficient d'équivalence :

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

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

Tab.V.II.2.a : Les coefficients d'équivalences

Matériaux utilises	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux ou enrobe dense	2.00
Grave ciment	1.50
Grave bitume	1.50 à 1.70
Grave concassée ou gravier	1.00
Grave roulée – grave sableuse T.V.O	**0.75**
Sable ciment	1.00 à 1.20
Sable	0.50
Tuf	0.60
Béton de ciment portland (Bon-passable-mauvais)	3 – **2.5** - 2
Béton bitumineux à module élevé	**2.5**
enrobé à module élevé	**1.9**

- **Détermination des épaisseurs de notre projet :**

Tab.V.II.2.a : Les épaisseurs équivalente

PK	Matériaux	Epaisseur Existent (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalant (cm)
0+000	**BBME**	8	2,5	**134 cm**
Au	**EME**	20	2	
1+200	**DALLE.P**	18	3	
	SABLE.B	50	0,4	
1+200	**BBME**	8	2,5	**137,2 cm**
Au	**BBME**	10	2,5	
2+428	**GB**	14	1,3	
	DALLE.P	18	3	
	SABLE.B	50	0,4	
2+428	**BBME**	8	2,5	**175,7 cm**
AU	**BBME**	10	2,5	
3+500	**GB**	14	1,3	
	DALLE.B	37	2,5	
	SABLE.B	50	0,4	

b) Résistance du sol support :

CBR : indice de portance du sol support égale à 5 (catégorie C).

c) Détermination de la RSI (Roue simple isolée) :

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

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

- ✓ **e :** en cm
- ✓ **RSI :** en tonne
- ✓ **Log :** logarithme décimal.

- **Pk 0+000 au 1+200 :** RSI= 69,51t
- **Pk 1+200 au 2+428 :** RSI= 67,01t
- **Pk 2+428 au 3+500** : RSI= 109,9t

❖ **Calcul de PCN :**

PCN = RSI x H (CBR)

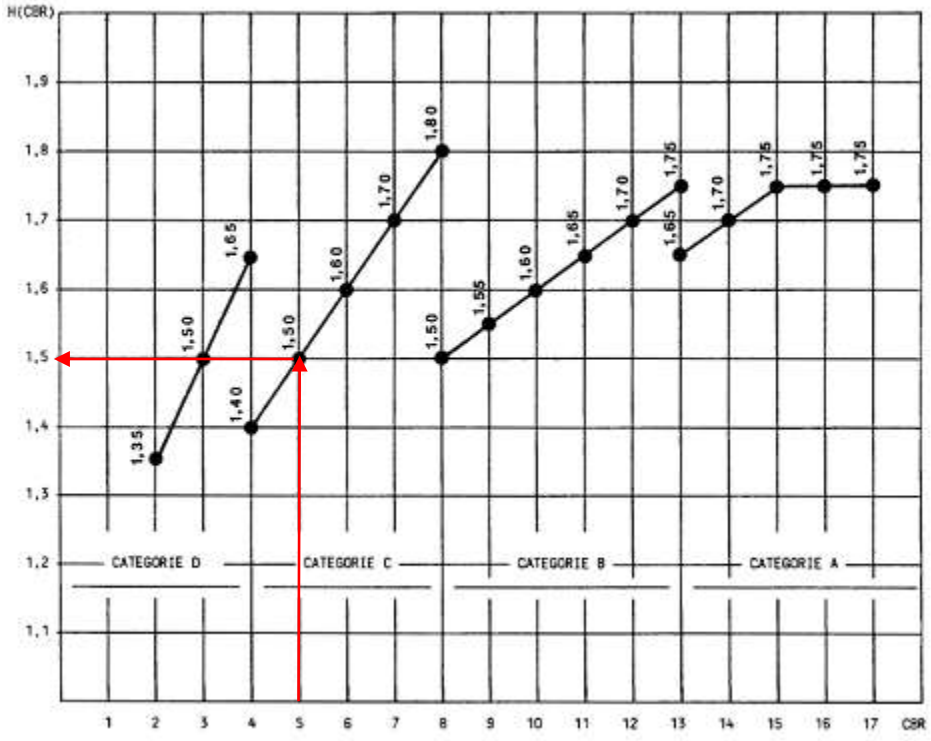


Fig.V.II.C : abaque du coefficient H(CBR)

CBR : indice de portance du sol support égale à 5 (catégorie C)

Le coefficient H(CBR) est égal à 1,50 pour la catégorie C et un CBR de 5 (voir abaque)

Le calcul du PCN des trois sections de la chaussée est résumé sur le tableau suivant :

Tab.V.II.2.c : Le calcul de trois sections de la chaussée

PK	Epaisseur De la dalle	Couche de Reprofilage	Epaisseur Moyenne de Reprofilage	Epaisseur Equivalente	RSI	PCN
0+000 au 1+200	18 cm	10 à 35 cm **EME**	20 cm	8x2,5=20 20x2=40 18x3=54 50x0,4=20 **e_{eqt} =138 cm**	69,51 t	**104,26**
1+200 au 2+428	18 cm	8 à 12 cm **BBME**	10 cm	8x2,5=20 10x2,5=25 14x1,3=18,2 18x3=54 50x0,4=20 **e_{eqt} =137,2 cm**	67,01 t	**100,51**
2+428 au 3+500	37 cm	8 à 12 cm **BBME**	10 cm	8x2,5=20 10x2,5=25 14x1,3=18,2 37x2,5=92,5 50x0,4=20 **e_{eqt} =175,7 cm**	109,9 t	**164,85**

DALLE.P : dalle en béton DALLE.B : dalle en béton hydraulique SABLE.B : sable BENI MERED

Conclusion :

La valeur du PCN qui sera publiée, c'est la valeur la plus faible et qui est égale à 100, elle est supérieure à l'ACN de l'Airbus A380 et celui du Boeing B747-400, qui sont de l'ordre de 75 et 82 respectivement pour la classe de portance C, donc ces appareils peuvent être admis sur la piste principale 05/23 de l'aérodrome d'Alger sans restriction.

Le PCN à publier est le suivant : **PCN = 100/F/C/W/T**

F : chaussée souple
C : Catégorie du sol support
W : Pas de limite de pression
T : Détermination par calcul.

III. Solution proposée :

a) Chaussée :

- Fraisage de la chaussée existante
- Scellement des fissures
- Couche d'accrochage
- Couche de régularisation
- Géo grille de RENFORCEMENT
- Couche de roulement en béton bitumineux a module élevé

b) Accotements :

- Scarification de la couche de roulement en béton bitumineux (si nécessaire)
- Mise en place d'une couche de base constatée d'un mélange de fraisât et de sable
- Mise en place d'une Couche d'imprégnation en Cut Back.
- Mise en place Couche de roulement en micro béton bitumineux (0/10).

Conclusion Générale

Conclusion générale

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

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

Enfin, ce projet de fin d'étude nous a permis d'acquérir des expériences sur l'élaboration d'une étude de renforcement d'infrastructures aéroportuaire, et aussi nous a permis d'élargir nos connaissances dans le domaine des chaussées en bétons bitumineux et l'auscultation avec HWD et profilomètre qui représente un bon moyen de prise de décision quant aux renforcements des chaussées dans le domaine des travaux publics et en particulier les aérodromes. Les avantages qu'offre ces outils lors et après leur utilisation dans un projet sont énorme et assez bénéfiques.

Cette étude à été une occasion pour nous de bénéficier des connaissances, et d'apprendre une méthodologie rationnelle à suivre pour l'élaboration d'un projet de travaux publics et Géotechnique routier à l'avenir.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Dr. Ameur.Abdenacer (2017/2018) : thème : Méthodologie de diagnostic et de renforcement des pistes aéronautiques, exemple Aérodrome de Hassi R'mel : Ouargla

[2] : Dr. Boudani.Abdelkader (2018/2019) : thème : étude sur aéroport d'Alger pour accueillir Airbus A380 : Blida

[3] : service de presse d'Air France, << A380. Le dossier de presse complet >>. Edition juin 2011.

[4] : Airbus Home : http://www.airbus.com

[5] : le portail de statistiques pour les données de marché, les études de marché et les Analyses de marché.

[6] : Office fédéral des questions conjoncturelles PI-BAT, (1991), « Entretien et rénovation des constructions Techniques d'auscultation des ouvrages de génie civil ».

[7] : P. AUTRET, M. BOUTONNET, M. BRENGARTH, M. DAUZATS, P. DIGUAT, B. FAURE, M. PAILLARD et M. SIIERT, LCTP et LRPC d'Aix-en-Provence, Autun, Bordeaux, Clermont-Ferrand, Nancy et Ouest-Parisien, (1977), « Guide d'auscultation des chaussées souples ».

[8] : Méthode d'essai LPC n°39, (Avril 1997), « Etudes routières, Déformabilités de surface des chaussées-Exécution et exploitation des mesures ».

[9] : Guide technique, CSTR-SETRA, (Novembre 1988), « Renforcement en enrobés à module élevé en traversée d'agglomération ».

[10] : Denis St-Laurent, ing. M.Sc. Université de Sherbrooke, (Mars 2010), « Le dimensionnement des structures de chaussées souples ».

[11] : Méthode d'essai LCPC n°70, (Mars 2009), « Auscultation dynamique des structures de chaussées ».

[12] : Rapport : Rachid TABBOUCHY, Chef du service auscultation des chaussées au CNER « Modèles d'évolution de déflexion des chaussées ».

[13] : EVED, « Etude des méthodes d'auscultation et d'observation des chaussées; EVED-Rapport de recherche 166 », (1988).

[14] : Georges JEUFFROY, (1983), « Conception et construction des chaussées » Cours de l'école nationale des ponts et chaussées.

[15] : J. HUBERT, Bulletin de Liaison Laboratoire des Ponts et Chaussées n° 11 (de jan-fév. 1965), « Le déflectographe Lacroix, modèle 1964 ».

[16] : Mehdi Ould Henia et Robert Braber, Revue Route et trafic n°7-8 juillet/Aout 2008 « Falling Weight Déflectomètre et déflectographe Lacroix : Comparaison, domaine d'application et perspectives ».

[17] : S.Grenier et J.M. Konrad (Groupe Qualitas inc., Montréal Université Laval, Québec) « Détermination des propriétés viscoélastiques d'un enrobé bitumineux à l'aide des essais HWD ».

[18] : S.GRENIER, Thèse Université Laval, Québec, (2007), « Analyse dynamique du déflectomètre à masse tombante».

[19] : Infralab S.A. Praz Roussy, (2001), « Information sur le falling Weight Deflectometer ».

[20] : Rapport final de l'action TRANSPORT RESEARCH COST336, (2006), «Falling Weight Deflectometer».

[21] : Anne MILLIEN et K. EL AYADI, B.PICOUX, C.PETIT, GEMH, Centre universitaire d'Egletons, Université de Limoges, (septembre 2008), « Modélisation des chaussées apport des essais HWD ».

[22] : M. BROUTIN, Ecole nationale des ponts et chaussées, (juin 2011), « Assessment of flexible airfield pavements using Heavy Weight Deflectometers.

[23] : Dynatest International A/S, Guide du logiciel ELMOD6 « Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design ».

[24] : Dynatest International A/S, Guide du logiciel ELMOD6 « Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design ».

[25] : Méthode d'essai LCPC n°46 Version 2.0, (juillet 2009), « Mesure de l'uni longitudinal des chaussées routières et aéronautiques, Exécution et exploitation des relevés profilométriques ».

[26] : Circulaire DR n°1984-50 (1984), Spécifications exprimées par rapport à l'index CAPL25.

[27] : Robert Braber, ingénieur dipl. HTS, InfralabSA, Lausanne, Route et trafic N°11/Novembre 2008, « Mesures de la planéité longitudinale – nouvelle approche Un confort de roulement insuffisant malgré des exigences conformes ».

[28] : M.W. Sayers, et S.M., Karamihas. (Séptembre 1998), « The little book of profiling UMTRI, The Regent of the University of Michigan ».

[29] : Organisme de Coopération et de Développement Economiques, France, (2001), « Indicateurs de performances pour le secteur routier-Résumé des essais sur le terrain ».

[30] : Sayers M.W., Gillespie T.D., Queiroz A.V. «The international road roughness experiment », World Bank Technical Paper N°45 (1986).

[31] : Doligez D., Coppens M.H.M. (1996). Fatigue improvement of asphalt reinforced by glass fibre grid. Proc., 2nd International RILEM Conference – Reflective Cracking in Pavements, Liege, Belgium.

[32] : Guide technique avis technique, CFTR, (Novembre 2003), « Enrobés, revêtements superficiels, liants modifiés ou spéciaux pour enrobés et revêtement superficiels ».

[33] : Swedish National Road Administration « Whole body vibration », Publ. 2000 : 3IE (2002).

[34] : Méthode d'essai LPC n°43, (Novembre 1996), « Exécution et exploitation des carottages de chaussée ».

[35] : Rapport de test du Laboratoire fédéral pour l'essai des matériaux et institut de recherche pour l'industrie, la construction et les arts et métiers (EMPA), Dubendorf, Suisse.

[36] : S.Schmidt Géoradar Services – Montenol, (Mai 2006), « Le géoradar-Principe et applications ».

[37] : Mr. MELBOUCI (2015/2016) : thème : exposé du module mécanique des milieux granulaire (l'essai CBR) : tizi-ouzou

[38] : Mr. Z.ladjel (2019/2020) : thème :essai pénétration statique : sétif1

[39] : Note d'information n°07-juillet 2002- Cftr info - du comité français pour les techniques routières –« Aide au choix des couches de roulement vis-à-vis de l'adhérence ».

[40] : Note d'information n°11-Mars 2005- Cftr info - du comité français pour les techniques routières –« Mesure de l'adhérence des chaussées routières ».

[41] : Méthode d'essai des lpc n°50 Version 2.0, (Avril 2006), « Mesure de l'adhérence des chaussées routières et aéronautiques ».

[42] : CFTR-info n°07 Juillet 2002, « Aide au choix des couches de roulement vis-à-vis de l'adhérence ».

[43] : CFTR-info n°11 Mars 2005, « Mesure de l'adhérence des chaussées routières ».

[44] : Méthode d'essai LCPC n°50 Version 2.0, Avril 2006, « Mesure de l'adhérence des chaussées routières et aéronautiques».

[45] : J.W.Hall, K.L.Smith and L.Titus-Glover, NCHRP, (février 2009), « Guide for Pavement Friction ».

[46] : Guide technique du SETRA/LC, (Décembre 1994), «Conception et dimensionnement des structures de chaussées ».

[47] : Pr, André-Gilles Dumont, AS. Jean-Claude Turtschy, Dr. T.Pucci, Ing. Marc Fontana Laboratoire des voies de circulation LAVOC, EPF Lausane, Ivan Scazziga, Ing. Dipl. ETH-VIAGROUP Winterthur et Romanel , (2001), **«** Analyse des modèles de comportement des chaussées».

[48] : Bassem Ali, Laboratoire de Mécanique de Lille et Ecole polytechnique de Lille, (octobre 2007), « Modèle numérique pour comportement mécanique des chaussées : application à l'analyse de l'orniérage ».

[49] : Cours : Dr Claude Bruxelle, ing, M.Ing. Université du Québec-Ecole de technologie supérieure « Construction et dimensionnement des chaussées »

[50] : Collection « les outils » SETRA, (décembre 2009), « Les renforcements de chaussées – diagnostic-guide technique ».

[51] : Guide technique, SETRA, (mars 2009), « Les renforcements de chaussées, Diagnostic et conception ».

[52] : Catalogue des structures de chaussées, Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile de France, Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien, (Décembre 2003).

[53] : R.W.Sarsby Woodhead Publishing Textiles Cambridge England, (2007), « Geosynthetics in civil engineering».

[54] : **MTQ,** Direction du laboratoire des chaussées, Bibliothèque nationale du Canada, (Octobre 2004), « Pose d'un géosynthétique au niveau de l'infrastructure de la chaussée ».

[55] : St-Laurent, Denis, Laboratoire des chaussées Québec**,** (octobre 2004)**, «** Guide d'utilisation des géosynthétiques de séparation et de renforcement des chaussées ».

[56] : Comité Stratégique « Ingénierie Industrielle, Biens d'équipement et matériaux » AFNOR, (Document n°312 du 26/01/2011), « Etat des lieux de la normalisation -Matériaux composites ».

[57] : F.Barthélémy (BRGM–REM)-St Gobain Vetrotex,(2002), « Fibre de verre un point sur le renforcement des nouveaux matériaux ».

[58] : Coppens Tijn. RGRA 1992, « Utilisation de fibres de verre pour renforcer les enrobés **».**

[59] : Doligez D.,(2008), «Une technique économique d'entretien des chaussées pour conserver durablement le patrimoine routier ».

[60] : Coppens T. et Doligez D., RGRA n°710, (Septembre 1993), « Comportement d'un enrobé renforcé d'une armature en fibres de verre ».

[61] : Coppens M.H.M, Wieringa (1993) « Dynamic testing of glass fibre reinforced asphalt ».

[62]: Jean-Pierre Kerzreto, Jean-Paul Michaut et Pierre Homych, RGRA n°890 (décembre 2010-janvier 2011), « Enrobé armé de grille en fibre de verre Test sur le manège de fatigue de l'IFSTTAR ».

[63]: E. GODARD, Colas, T. COPPENS Netherlands Pavement Consultant, D. DOLIGEZ, CHOMARAT, RGRA n°713, (1993), « Enrobé armé d'une grille en fibre de verre Comportement à la fatigue ».

[64]: F.CHAIGNON et J.C.ROFFE, IBEF France, (novembre 1999), « Essais de caractérisation des couches d'accrochages : Enquête mondiale, pertinence, essais développés, recommandations », congrès ISAET (International Symposium on Asphalt Emulsion Technology) à Washington.

[65]: J.Scherer**,** Clever reinforcement Company Brunnen, (février 2011), « Treillis d'armatures S&B pré-enrobés de bitume ».

[66]: RGRA-USIRF, (septembre 2006), « Les émulsions de bitumes ».

[67]: RGRA-USIRF, (décembre 2003), « Les enrobés bitumineux Tome 2».

[68]: Guide technique, SETRA-CFTR, (mars 2006), « Fabrication des enrobés à chaud en continu »

[69]: Yann LEFEUVRE, Ecole nationale des ponts et chaussées, **(**Mars 2001), « Contribution à l'étude du comportement en fatigue des enrobés bitumineux ».

[70]: RGRA-USIRF, (décembre 2001), « Les enrobés bitumineux Tome 1».

[71]: Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés Groupe de travail RST, (Septembre 2007), « Formulation des enrobés».

[72]: BENAISSA Abdellah et ALALOUANI Mohamed << Elaboration d'un ProJet D'instruction de certification d'aérodrome d'Alger H.B de code 4-F >>, Mémoire de fin D'études, option: Exploitation Aériennes, Promotion 2009-2010.

[73]: AIP, Publication d'informtion aéronautique, Algérie, partie aérodromes. Edition Janvier 2010

[74]: SGSIA. <<Organigramme de la Société de gestion des services et infrastructures aéroportuaires (SGSIA-SPA) Aéroport d'Alger >>, Pages (31-44). Edition 2010.