

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU**



**FACULTE DU GENIE DE CONSTRUCTION**

**DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL**



# Mémoire de fin d'études

*En vue d'obtention du diplôme de Master en Génie Civil*

*Option : Voies et Ouvrages d'Art.*

## Thème

***ETUDE DE RENFORCEMENT DES  
AIRES DE MOUVEMENT DE  
L'AERODROME D'IN SALAH***

***Proposé par :***

Service Aéroportuaire SAETI

***Encadré par:***

***M<sup>r</sup> : GABI.S***

***Réalisé par :***

***M<sup>r</sup> : LAMARI Hocine dit Abdenour***

***M<sup>r</sup> : HADDAR Massinissa***

**Promotion 2014/2015**

# Remerciements

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

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

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

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

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

Mr **SIDALI Farid**, Directeur opérationnel des ouvrages aéroportuaires, qui nous a dirigés tout au long de cette étude d'une manière exceptionnelle et pour toute son aide technique. Nous ne saurons oublier sa constante disponibilité.

Notre cher camarade Mr **AMMOUCHAS Oualid**, et Mr **LAMARI Lounes**, qui nous ont apportés leur aide technique.

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

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



---

## DÉDICACES



*Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que je dédie à :  
A mon cher père (Belaïde Oulamara) qui n'a pas cessé de m'encourager et de se sacrifier pour que  
je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études et rien n'aurait été possible  
sans lui, que dieu me le garde en très bonne santé.*

*A ma plus belle étoile qui puissent exister dans l'univers ; ma chères mère (Tassadite), celle à qui  
je souhaite une très longue vie.*

*A ceux que j'aime et je respecte:*

*A mes frères : Amar, Lounes, Samir.*

*A ma très chère sœur : Nacima et son marie Kaci*

*A mes sœurs : Souad, Souhila, Rabia, Safia et leurs familles*

*Ames petites sœurs Hayet et Lynda.*

*A mes belles sœurs : Safia, Fatma.*

*A mes nièces : Lina, Asma, Amal, Inès, Randa, Manel, anais, Maeva et Aurélia.*

*A mes neveux : Moh oukasi, le petit Hacene.*

*A toute ma grande famille,*

*A mon binôme : Haddar Massinissa*

*A mes chères amies : Rania, Walid, Kamel, Farid, Malik, Nacer, Djamel, Hacene, Massi,*

*Mokrane, Abdellah, da chabane*

*A ma copine et futur épouse : Meriem.*

*A toute la promotion 2015 spécialement : Lilla, Madjid, Mohamed, Yacine, Bayazid, Djamel  
..... (Et la liste ne se termine pas).*

*A tous ceux que j'ai oubliés qui m'ont apporté d'aide et soutien durant ces années de formation.  
Merci à tous.*

*LAMARI Hocine*



---





---

## DÉDICACES



*Tout d'abord je remercie Dieu de m'avoir donné la force d'accomplir ce travail, que  
Je dédie à :*

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

*A mes grands parents pour votre amour, et votre soutien. Je vous souhaite longue vie.*

*A mon frère : Rabah.*

*A mes sœurs : Dilia, et Céline.*

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

*A toute ma grande famille, la famille MOALI, la famille ARKOUBE, ainsi que la famille  
FERHAT.*

*A ma future épouse : Nabila.*

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

*Abdellah, Ghilasse, Nassim, Massi, Hocine, Madjid, Oualid, Mouhamed, Malik, Djamel,  
Nacer, Kouceila, Da Chabane.... (Et tous ceux que j'ai oubliés).*

*A mon binôme que je remercie pour sa patience.*

*A toutes les promotions 2015, spécialement mes camarade de la promo VOA.*

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

*Merci à tous.*

*HADDAR Massinissa*



---



# **LISTE DES ABREVIATIONS**

**ACN:** Aircraft Classification Number ;

**APD :** Avant-projet détaillé ;

**APL :** Analyseur du Profil en Long ;

**APS :** Avant-projet sommaire ;

**B737-800 :** Boeing 737-800 ;

**BB :** Béton bitumineux ;

**BBME :** Béton bitumineux à module élevé ;

**MBBME :** Micro béton bitumineux à module élevé ;

**CAT II :** Catégorie deux (02) ;

**CBR:** Californian Bering Ratio ;

**Cm :** Centimètre ;

**DA :** Dinars Algérien ;

**E.M.E :** Enrobés à module élevé ;

**ELMOD:** Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design;

**G.P.S :** Guidage par satellite ;

**GB :** Grave bitume ;

**GC :** Grave concassé ;

**HT:** Hors taxes;

**HWD:** Heavy Weight Défectomètre;

**IFR :** Instrument flight rules ;

**IGS :** International Geosynthetics society ;

**IMAG :** Instrument de mesure automatique de glissance ;

**IRI :** Indice de Rugosité International ;

**IS:** Indice de service ;

**ITAC :** Instruction Technique sur les Aérodrômes Civils ;

**K :** Modules de réaction.

**KG:** Kilos-gramme ;

**KN:** Kilos-Newton ;

**LCPC :** Laboratoire central des ponts et chaussées ;

**M :** Mètre ;

**MBB** : Micro béton bitumineux ;

**MPa** : Méga Pascal ;

**OACI** : Organisation de l'Aviation Civile International ;

**PCN**: Pavement Classification Number ;

**PEL** : Profil en long ;

**PET** : Profil en travers ;

**PK** : Point kilométrique ;

**P<sub>max</sub>** : Pente maximale ;

**P<sub>moy</sub>** : Pente moyenne ;

**QFU** : Correspond à l'appellation provenant de l'ancien code radio dénommé code Q et correspondant à l'orientation magnétique de la piste ;

**R<sub>min</sub>** : Rayon minimum de raccordement ;

**RSE** : Roue simple équivalente ;

**RSI** : Roue simple isolé ;

**S.I.G** : Système d'information géographique ;

**S.W.Y, (P O R)** : Prolongement d'arrêt (Aire de sécurité);

**SAETI** : Société Algérienne d'étude et d'infrastructures ;

**STBA** : Service technique des bases aériennes ;

**TTC** : Toutes taxes comprises ;

**TVA** : Taxe sur la valeur ajoutée ;

**UNI** : Caractéristique de l'état de surface (planéité) d'une chaussée ;

**VFR** : Visual flight rules.

# **LISTE DES FIGURES**

<b>Figure I.1 :</b> Illustration sur les principales aires de mouvement d'un aéroport .....	P 02
<b>Figure I.2 :</b> Piste et bandes de piste.....	P 03
<b>Figure I.3 :</b> Caractéristiques géométriques d'un Boeing 737-800 .....	P 04
<b>Figure I.4 :</b> Schéma des atterrisseurs d'un Boeing 737-800 .....	P 04
<b>Figure II.1:</b> Photo satellitaire de la situation de la ville d'In Salah .....	P 07
<b>Figure II.2 :</b> Photo satellitaire de l'aéroport d'In Salah .....	P 09
<b>Figure III.1 :</b> Subdivision de la piste en bandes d'épandages .....	P 14
<b>Figure III.2 :</b> Photo de Dynatest HWD model 8082-86 .....	P 19
<b>Figure III.3 :</b> Principe de mesure des déflexions.....	P 20
<b>Figure III.4 :</b> Illustration sur les géophones.....	P 20
<b>Figure III.5 :</b> Illustration d'un APL (mesure de l'UNI).....	P 25
<b>Figure III.6 :</b> Schéma d'une roue palpeuse.....	P 25
<b>Figure IV.1 :</b> Organigramme simplifié du système de gestion d'une chaussée aéronautique ....	P 54
<b>Figure V.1 :</b> Illustration d'une structure de chaussée souple .....	P 58
<b>Figure V.2 :</b> Illustration du principe de répartition des charges (cas d'une chaussée souple) ....	P 59
<b>Figure V.3 :</b> Illustration d'une structure de chaussée rigide .....	P 60
<b>Figure V.4 :</b> Pondération de la charge réelle « P », en fonction des aires d'un aéroport .....	P 64
<b>Figure V.5 :</b> Abaque de l'épaisseur équivalente minimale de matériaux traités.....	P 66
<b>Figure V.6 :</b> Processus de calcul de l'ACN d'un avion .....	P 69
<b>Figure V.7 :</b> Abaques des coefficients de correction du PCN.....	P 71
<b>Figure V.8 :</b> Modélisation du corps de chaussée sous ELMODE 6.....	P 73
<b>Figure VI.1 :</b> Epaisseurs minimales de matériaux traités .....	P 80
<b>Figure VI.2 :</b> Illustration du renforcement de la piste et bretelles (Variante classique) .....	P 84

<b>Figure VI.3</b> : Illustration du renforcement des accotements (Variante classique).....	P 84
<b>Figure VI.4</b> : Illustration du renforcement des SWY (Variante classique).....	P 85
<b>Figure VI.5</b> : Illustration du renforcement du parking (Variante classique).....	P 85
<b>Figure VI.6</b> : Illustration d'une nappe de géogridde.....	P 86
<b>Figure VI.7</b> : Préparation de la surface pour mise en œuvre de la géogridde.....	P 88
<b>Figure VI.8</b> : Mise en œuvre de la couche d'accrochage.....	P 88
<b>Figure VI.9</b> : Mise en œuvre des rouleaux de géogridde.....	P 89
<b>Figure VI.10</b> : Mise en place du recouvrement bitumineux .....	P 89
<b>Figure VI.11</b> : Illustration du renforcement de la piste et bretelles avec une géogridde.....	P 90
<b>Figure VI.12</b> : Illustration du renforcement de la piste et bretelles avec « EME » .....	P 94
<b>Figure VI.13</b> : Illustration du renforcement des accotements avec « EME » .....	P 94
<b>Figure VI.14</b> : Illustration du renforcement des SWY avec « EME » .....	P 95
<b>Figure VI.15</b> : Illustration du renforcement du parking avec « EME » .....	P 95
<b>Figure VII.1</b> : Distance de changement de pente.....	P 103
<b>Figure VII.2</b> : Profil en travers type pour la piste 05/23.....	P 109
<b>Figure VII.3</b> : Profil en travers type pour les bretelles .....	P 112
<b>Figure VII.4</b> : Profil en travers type pour les SWY (POR) .....	P 113
<b>Figure IX.1</b> : Principaux marquages d'une piste d'envol .....	P 130
<b>Figure IX.2</b> : Principaux panneaux d'indication sur un aérodrome.....	P 133
<b>Figure IX.3</b> : Principaux panneaux d'obligation sur un aérodrome.....	P 134
<b>Figure IX.4</b> : Illustration du balisage lumineux utilisé sur un aérodrome .....	P 136

# **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau II.1</b> : Données sur la température à In Salah.....	P 11
<b>Tableau II.2</b> : Données sur les précipitations à In Salah .....	P 11
<b>Tableau III.1</b> : Résultats des sondages carottés.....	P 14
<b>Tableau III.2</b> : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK 0+000 au PK 0+600.....	P 21
<b>Tableau III.3</b> : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK 0+600 au PK 0+3000.....	P 21
<b>Tableau III.4</b> : Récapitulatif des déflexions enregistrées sur le parking .....	P 22
<b>Tableau III.5</b> : Moyennes des modules en surface de PK 0+000 au PK 0+600.....	P 22
<b>Tableau III.6</b> : Moyennes des modules en surface de PK 0+600 au PK 0+3000.....	P 23
<b>Tableau III.7</b> : Moyennes des modules des trois profils du parking .....	P 23
<b>Tableau III.8</b> : Résultats des valeurs moyennes de l'IRI pour la piste 05/23.....	P 25
<b>Tableau III.9</b> : Résultats des valeurs de l'IRI Max et leurs pourcentages pour la piste 05/23...	P 26
<b>Tableau III.10</b> : Résultats de tous les essais au laboratoire .....	P 29
<b>Tableau IV.1</b> : Tableau de référence de l'indicateur de service .....	P 49
<b>Tableau V.1</b> : Avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides.....	P 61
<b>Tableau V.2</b> : Coefficients d'équivalence des matériaux .....	P 67
<b>Tableau V.3</b> : Exemple de publication des ACN d'un A300-B2.....	P 69
<b>Tableau V.4</b> : Catégories et codes des sols support .....	P 70
<b>Tableau V.5</b> : Code lettre affectés au PCN .....	P 70
<b>Tableau VI.1</b> : Caractéristiques du Boeing 737-800 pour le calcul de la charge « P » .....	P 76
<b>Tableau VI.2</b> : Résultats des charges de calcul pondérées « P' ».....	P 76
<b>Tableau VI.3</b> : Résumé des résultats des charges de calcul « P'' ».....	P 77
<b>Tableau VI.4</b> : Résultats des épaisseurs équivalentes totales .....	P 78
<b>Tableau VI.5</b> : Résultats des Coefficients d'équivalence .....	P 79
<b>Tableau VI.6</b> : Résultats des épaisseurs équivalentes résiduelles totales .....	P 79

<b>Tableau VI.7</b> : Résultats des épaisseurs minimales des matériaux traités .....	P 80
<b>Tableau VI.8</b> : Résultats de la vérification par la méthode ACN-PCN .....	P 81
<b>Tableau VI.9</b> : Résultats des épaisseurs équivalentes de renforcement.....	P 83
<b>Tableau VI.10</b> : Résultats des épaisseurs réelles de renforcement .....	P 83
<b>Tableau VI.11</b> : Caractéristiques techniques des géogrilles .....	P 87
<b>Tableau VI.12</b> : Caractéristiques des enrobés à module élevé .....	P 92
<b>Tableau VI.13</b> : Granulométrie des « EME » .....	P 92
<b>Tableau VI.14</b> : Coefficients d'équivalence des « EME » .....	P 93
<b>Tableau VI.15</b> : Résultats des épaisseurs réelles de renforcement en « EME ».....	P 93
<b>Tableau VI.16</b> : Estimation financière de la variante classique.....	P 96
<b>Tableau VI.17</b> : Prix total de fourniture et pose de géogrille .....	P 97
<b>Tableau VI.18</b> : Estimation financière de la variante Synthétique .....	P 97
<b>Tableau VI.19</b> : Estimation financière de la variante en « EME » .....	P 98
<b>Tableau VI.20</b> : Estimation financière des différentes variantes .....	P 99
<b>Tableau VI.21</b> : Durée de vie de différentes variantes proposées .....	P 99
<b>Tableau VI.22</b> : Délais d'exécution des différentes variantes proposées .....	P 100
<b>Tableau VI.23</b> : Avantages et Inconvénients des différentes variantes proposées .....	P 100
<b>Tableau VI.24</b> : Résumé de l'analyse multicritères.....	P 101
<b>Tableau VII.1</b> : Caractéristiques des différents éléments du profil en long de la Piste 05/23 ...	P 108
<b>Tableau VII.2</b> : Caractéristiques des éléments du profil en long des bretelles d'accès.....	P 111
<b>Tableau VII.3</b> : Récapitulatif des quantités de matériaux à mettre en œuvre.....	P 117
<b>Tableau VII.4</b> : Evaluation financière finale du projet.....	P 118
<b>Tableau VIII.1</b> : Valeurs des coefficients de ruissèlement .....	P 123
<b>Tableau VIII.2</b> : Le paramètre (a) pour les différentes fréquences de la région de Saida .....	P 124

# Sommaire

Avant-propos  
Introduction générale

## Chapitre I: Généralités sur le transport aérien

I. Introduction .....	01
II. Les composants du trafic aérien .....	01
1. L'Aérodrome .....	01
2. Les Aéronefs .....	03
3. Les Aéroports .....	04
4. La Tour de contrôle et la vigie .....	05
III. Caractéristique du transport aérien .....	05
IV. Classification du transport aérien .....	06
V. Conclusion .....	06

## Chapitre II : Présentation du projet

I. Situation du projet .....	07
II. Présentation de l'aérodrome .....	07
II.1. Données générales .....	07
II.2. Données de base de l'aérodrome .....	08
a) Classe de l'aérodrome.....	08
b) Description de l'aérodrome .....	08
III. Géologie du site .....	10
IV. Environnement et climatologie de l'aérodrome: .....	10
IV.1 Environnement .....	10
IV.2 Climatologie .....	10
1. Températures .....	11
2. Précipitations .....	11
3. Vents .....	12

## Chapitre III : Étude géotechnique du site

I. Introduction .....	13
II. But de l'étude géotechnique .....	13
III. Campagne de reconnaissance géotechnique .....	14
1) Essais In Situ .....	14
a) Sondages carottés .....	14
b) Campagne de creusement des puits .....	16
c) Mesure de la portance à l'aide du déflectomètre à masse tombante HWD .....	18
d) Vérification de l'état de surface avec l'essai de L'UNI .....	24
2) Essais au laboratoire .....	27
a) Essais d'identification .....	27
b) Essais mécaniques .....	28
c) Synthèse et interprétation de tous les résultats des essais au laboratoire .....	29
IV. Conclusion .....	30

## Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques

IV.1. Dégradations des chaussées aéronautiques .....	31
IV.1.1. Introduction .....	31
IV.1.2. Généralités sur les dégradations des chaussées aéronautiques .....	31
IV.1.3. Définition d'une dégradation .....	31
IV.1.4. Familles des dégradations .....	32
a) Cas des chaussées souples .....	32
1. Les Fissures .....	32
2. Les Arrachements .....	34
3. Les Déformations: .....	35
4. Les Autres Dégradations .....	37
b) Cas des chaussées rigides .....	38
1. Dégradations de structure .....	39
2. Dégradations de surface .....	40
3. Autres dégradations .....	41
c) Cas commun pour chaussées souples et rigides .....	41
IV.1.5. Facteurs influents sur les dégradations .....	42
IV.1.6. Conséquences et évolutions des dégradations .....	43
1. Chaussées souples .....	43
2. Chaussées rigides .....	44
IV.2. Auscultation des chaussées Aéronautiques .....	46
IV.2.1. Introduction .....	46
IV.2.2. Méthodes d'auscultation des chaussées aéronautiques .....	46
1- Méthode de l'indice de service .....	47
a- Principe de la méthode .....	47
b- Relevés des dégradations .....	48
c- Calcul de l'indice de service de la chaussée .....	48
2- Evaluation de la portance et des caractéristiques résiduelles de la chaussée .....	50
a- Recours au radar géologique .....	50
b- Auscultation par essais de plaque .....	51
c- Auscultation par essais au Défectomètre à masse tombante HWD .....	51
d- Méthode inverse de dimensionnement .....	51
3- Auscultation de l'état de surface par l'essai APL(UNI) .....	52
4- Evaluation de L'Adhérence .....	52
5- Inspections du réseau d'assainissement et de drainage .....	52
a- Inspection des ouvrages du réseau d'assainissement .....	52
b- Inspection des bassins étanches et des ouvrages des-sableurs-déshuileurs .....	53
c- Inspection des bassins d'infiltration .....	53
d- Inspection des ouvrages de drainage des eaux d'infiltration ou de nappe .....	53
IV.3. Interventions possibles sur les chaussées aéronautiques .....	53
IV.4.Synthèse des résultats de l'auscultation de l'aérodrome d'In Salah .....	54
IV.5. Conclusions .....	56

## Chapitre V: Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

I. Introduction .....	57
II. Constitution et comportement des chaussées aéronautiques .....	57
1. Chaussées souples .....	57
a- Constitution d'une chaussée souple .....	58
b- Comportement d'une chaussée souple .....	59
2. Chaussées rigides .....	59
a. Constitution d'une chaussée rigide .....	59
b. Comportement d'une chaussée rigide .....	60
c. Types de chaussées rigides .....	60
d. Joints sur chaussées en béton .....	60
III. Critères de choix d'un type de chaussée .....	61
IV. Critères de choix d'un type de renforcement .....	61
V. Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques .....	62
1. Méthode forfaitaire .....	62
1.1 Choix de la charge réelle de calcul « P » .....	62
a- Masse de l'avion .....	63
b- Les atterrisseurs .....	63
1.2. Charge de calcul pondérée « P' » et coefficients de pondération : .....	63
1.3. Charge normale de calcul « P'' » .....	64
1.4. Calcul de l'épaisseur équivalente (Ee) par la formule CBR .....	65
1.5. Épaisseur minimale de matériaux traités .....	66
1.6. Calcul des épaisseurs réelles des couches de chaussée .....	67
2. Méthode ACN-PCN .....	68
2.1. Définition de l'ACN et PCN .....	68
2.2. Principe général de la méthode .....	68
2.3. Détermination des ACN .....	68
2.4. Détermination des PCN .....	70
2.5. Dimensionnement par la méthode ACN-PCN .....	72
3. Méthode HWD « Programme ELMOD 6 » .....	72
VI. Conclusion .....	74

## Chapitre VI: Dimensionnement et proposition de variantes

I. Introduction .....	75
II. Dimensionnement et calcul de l'épaisseur équivalente .....	75
1. Application de la méthode forfaitaire .....	75
a) Calcul de la charge réelle de calcul « P » .....	76
b) Calcul de la charge réelle pondérée « P' » .....	76
c) Détermination de la charge normale de calcul « P'' » .....	77
d) Correction de la pression de gonflage des pneumatiques .....	77
e) Calcul des épaisseurs équivalentes des corps de chaussées .....	78
f) Calcul des épaisseurs équivalentes résiduelles des chaussées existantes....	78
g) Calcul des épaisseurs minimales de matériaux traités à mettre en œuvre ..	80
2. Vérification à l'aide de la méthode ACN-PCN .....	81
III. Proposition de variantes .....	82

1. Variante classique.....	82
a- Epaisseurs équivalentes de renforcement .....	83
b- Epaisseurs réelles de renforcement .....	83
c- Résumé des résultats de renforcement obtenu et leur mise en œuvre .....	84
2. Variante synthétique .....	86
a- Définition des géogrilles .....	86
b- Rôle des géogrilles: .....	87
c- Caractéristiques techniques des géogrilles.....	87
d- Mise en œuvre de la géogrille .....	88
e- Dimensionnement de la variante : .....	90
3. Variante en enrobés à modules élevés .....	91
a- Définition de « EME » .....	91
b- Rigidité des enrobés .....	91
c- Formulation et caractéristiques des « EME » .....	91
d- Coefficients d'équivalence des « EME » .....	93
e- Dimensionnement du renforcement .....	93
f- Epaisseurs réelles de renforcement .....	93
g- Résumé des résultats de renforcement obtenu et leur mise en œuvre .....	94
IV. Evaluation financière des différentes variantes .....	96
1. Variante classique .....	96
2. Variante synthétique.....	97
3. Variante en enrobés à module élevé .....	98
V. Analyse multicritères .....	99
1. Estimation financière .....	99
2. Durée de vie .....	99
3. Délais de réalisation .....	100
4. Avantages et inconvénients .....	100
VI. Choix de la variante appropriée .....	101
VII. Conclusion .....	101

## **Chapitre VII : Etude détaillée de la variante retenue « E.M.E»**

I. Introduction .....	102
II. Etude géométrique.....	102
1. Normes géométriques préconisées pour la Piste 05/23 .....	102
a- Profil en long (PEL) .....	102
b- Profil en travers (PET) .....	104
2. Normes géométriques préconisées pour les Bretelles (voies de circulation) .....	104
3. Normes préconisées pour les accotements .....	105
4. Normes préconisées pour les Bandes (Piste+Bretelles) .....	105
5. Normes préconisées pour les S.W.Y .....	106
6. Normes préconisées pour les aires de trafic (Parking) .....	106
7. Application des recommandations sur notre projet.....	106
III. Métré des travaux .....	114
1. Calcul des surfaces .....	114
2. Phasage des travaux .....	114

a) Scarification des chaussées existantes .....	114
b) Calcul des quantités de matériaux à mettre en œuvre .....	115
IV. Matériaux à mettre en œuvre et leurs caractéristiques .....	117
V. Evaluation financière final du projet .....	118
VI. Conclusion .....	119

### **Chapitre VIII: Assainissement des chaussées aéronautiques**

I. Introduction .....	120
II. Drainage des eaux souterraines .....	120
III. Drainage des eaux de ruissellement .....	121
IV. Fonctions d'un réseau de drainage .....	121
V. Dimensionnement du réseau de drainage pour notre projet .....	121
1. Détermination des Bassins versants .....	122
2. Caractéristiques des averses .....	122
3. Calcul du débit d'apport (débit de ruissellement) .....	122
a. Coefficients de ruissellement .....	123
b. Intensité de l'averse.....	124
4. Calcul du débit de saturation de l'ouvrage .....	125
a. Calcul de la surface mouillée du profil .....	126
b. Calcul du périmètre mouillé du profil.....	126
c. Calcul du rayon hydraulique .....	126
d. Calcul de la vitesse moyenne d'écoulement .....	127
5. Vérification de la vitesse moyenne d'écoulement.....	127
VI. Conclusion .....	127

### **Chapitre IX : Balisage et signalisation**

I. Introduction .....	128
II. Les principales marques de balisage sur un aérodrome .....	128
II.1 Balisage non lumineux .....	128
II.2 Signalisation pour la circulation aérienne et au sol.....	131
II.3 Balisage lumineux .....	134
III. Entretien des marques de balisage .....	136
IV. Conclusion .....	137

Conclusion Générale

Références bibliographie

Annexes

## « AVANT-PROPOS »

Le monde dans lequel on vit aujourd'hui est en perpétuel mouvement et évolution, et cela de tous les points de vue ; que ce soit, politique, sociologique, économique, industriel, ou technologique. Un des moteurs de cette dynamique, est sans aucun doute les voies de communication en tous genres (aériennes, terrestres ou maritimes), et les avancées technologiques considérables en matière de transport réalisées ces dernières années. Concernant les moyens de transports, l'avion demeure et de très loin le plus sûr d'entre eux, et de surcroît, offre aussi de nombreux autres avantages.

Cependant, ces avancées enregistrées ont aussi apportées leurs lots de défis et de contraintes, surtout vis-à-vis des infrastructures aéroportuaires, qu'il a fallu réadapter à celles existantes et remettre aux normes des nouveaux aéronefs sorties sur le marché ; mais aussi pour faire face au trafic qui s'accroît de plus en plus, engendrant des dégradations et des désordres sur les chaussées aéronautiques.

Ces mises à niveaux ou rénovations portent sur plusieurs aspects, tels que : la géométrie (élargissements, modifications...etc.), la résistance des corps de chaussées (renforcements, réfections...etc.), ainsi que beaucoup d'autres caractéristiques.

Le travail présenté dans ce manuscrit s'inscrit dans cette optique, et porte sur l'étude du phénomène d'usure que subissent ces infrastructures, ainsi que les éventuelles méthodes existantes pour y remédier ; et apporte au final une solution adéquate à ce problème en utilisant comme références bibliographiques, les différents règlements internationaux allant dans ce sens OACI, ITAC.

# Introduction Générale

L'ALGERIE est un pays dont le territoire est immense (environ 2 381 741 km<sup>2</sup>) et qui a été classé récemment premier à l'échelle africaine du point de vue de la superficie ; compte tenu des caractéristiques géographiques, topographiques et de celles relatives aux transports, dans notre pays on peut aisément constater que :

- Les distances à parcourir entre les principaux centres urbains sont longues et laborieuses.
- La répartition démographique des populations à travers le territoire national, induit un gros déséquilibre entre les différentes régions du pays.
- Le Rayon d'action, le niveau de service offert et l'état des réseaux de transport terrestre sont limités et très vétustes, ce qui rend les déplacements des usagers de ces réseaux, très pénibles et coûteux...etc.

Ces constats faits précédemment demeurent d'autant plus réels pour les wilayas et les populations du Sud de l'Algérie (Sahara), qui souffrent d'enclavement et de manques en matière d'infrastructures de transport par rapport à celles du Nord. De ce point de vue, l'avion s'avère le moyen de transport le plus approprié pour répondre à leurs besoins et faire bénéficier tous les secteurs économiques des commodités offertes par celle-ci. La wilaya de TAMANRASSET, et plus précisément la ville d'IN SALAH n'a pas échappée à cette réalité, et c'est dans ce sens qu'elle a été dotée d'un aéroport national, dont le but est de pallier aux manques constatés dans cette région.

En génie civil chaque ouvrage présente une durée de vie ; et c'est ainsi que sous le développement perpétuel des nouvelles générations de gros porteurs, la croissance sans cesse du trafic, les effets climatiques extrêmes et le vieillissement des ses infrastructures, l'aérodrome d'IN SALAH n'a pas échappé à cette règle, et présente des dégradations et un état de fatigue apparent.

Les autorités Algériennes, à travers leur politique d'aménagement du territoire mise en place et dans l'optique de la remise à niveau des infrastructures aéroportuaires du pays, ont pris la décision de rénover les infrastructures de l'aérodrome d'IN SALAH.

Cette démarche nous a offert la chance d'en participer par le biais de notre projet de fin d'études, qui s'intitule « Etude en APS/APD du renforcement des aires de mouvement de

l'aérodrome d'IN SALAH » et qui nous a été proposé par la S.A.E.T.I (Société Algérienne d'Etude et d'Infrastructures) ; il se propose de mener une étude de renforcement des infrastructures de l'aérodrome en question, en élaborant différentes variantes de renforcement et en établissant une analyse multicritères, afin d'aboutir à une solution innovante et économique, qui va permettre à cette aéroport, d'offrir un niveau de service et de sécurité répondant aux normes de l'Organisation de l'Aviation Civil International (OACI) d'une part, et de lutter contre l'accentuation de la fatigue et des dégradations survenu à ces mêmes chaussées, d'autre part.

Pour ce faire ; on a opté pour un cheminement d'idées, et une ossature qui est la suivante :

- Présentation de l'aérodrome en question, et des caractéristiques géotechniques de son sol support, ainsi que des principaux essais effectués sur ce dernier ;
- Définition des dégradations et des différentes méthodes d'auscultation des infrastructures aéroportuaires ;
- Présentation des principales méthodes de dimensionnement d'un renforcement des chaussées aéronautique, avec application sur notre projet et proposition de variantes ;
- Choix final d'une variante, avec une étude détaillée de cette dernière ;

Ce modeste travail, n'est en aucun cas exhaustif ; il tient au lecteur pour plus d'informations et de détails de se référer aux différents règlements et notes de l'OACI et de l'ITAC relatives à la conception d'infrastructures aéroportuaires. Néanmoins nous avons tenu à apporter un maximum de généralités et de détails, pour que ce travail puisse servir de base pour les futures études qui iront dans ce sens.

# Chapitre I

## Généralités sur le transport aérien

**I. Introduction :**

Le transport aérien est le plus récent de tous les moyens de transport, il est apparu au début du siècle, et a enregistré la croissance la plus impressionnante au cours des trente dernières années, aujourd'hui il est devenu le moyen le plus utilisé pour les déplacements intercontinentaux, il prend désormais en charge la très grande majorité des liaisons national (selon la superficie et géographie du pays en question) et international.

Le déplacement par voie aérienne est devenue incontournable, tant par sa vitesse que par sa sécurité. L'avion a révolutionné le transport transocéanique, permettant de relier tous les continents dans la même journée. Il a permis de relier des régions extrêmement reculées, qui auraient nécessités d'énormes investissements en infrastructures pour des moyens de transport terrestres.

Par ces facteurs l'aviation a été ainsi victime de son succès, passant d'un moyen de transport marginal réservé à de riches privilégiés à un transport populaire de masse, engendrant de ce fait de nouveaux défis aux ingénieurs concepteurs travaillent dans tous les domaines touchent à l'aéronautique.

**II. Les composants du trafic aérien :****1) L'Aérodrome :**

L'aérodrome est défini (selon L'ITAC et L'OACI) comme étant « Tout terrain ou plan d'eau spécialement aménagé pour, l'atterrissage, le décollage, et les manœuvres des aéronefs, y compris les installations annexes qu'il peut comporter, pour les besoins du trafic et services des aéronefs ».

Les aérodromes sont aménagés et équipés de manière à satisfaire aux activités correspondant à leurs catégories, ils sont rangés en classes découlant des catégories du code de l'OACI et ayant des caractéristiques communes.

Les composants d'un aérodrome sont :

- Les aires de mouvement (pistes, aires de circulation, aires de trafic et de stationnement...etc) ;
- Les installations annexes comme la tour de contrôle, les hangars d'entretien...etc ;
- Les équipements divers (Aides à l'atterrissage, météorologie, le balisage...etc) ;
- Les dégagements aériens (Espaces aériens réservés à l'aéroport) ;
- Les dégagements au sol (Espaces au sol réservés à l'aéroport).

L'objet de notre étude est défini dans la composante « **Aire de mouvement** » qui comprend toutes les parties de l'aérodrome aménagées en vue des opérations d'atterrissage et de décollage des aéronefs et de leurs évolutions au sol.

On y distingue :

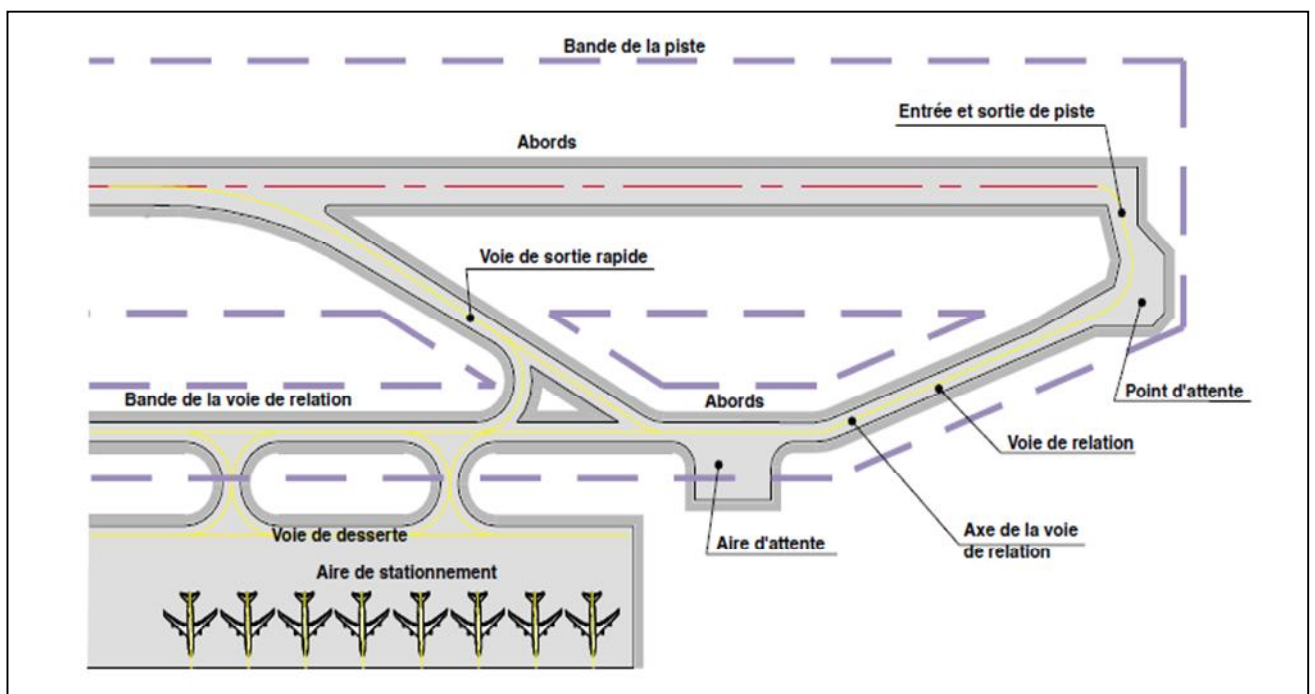
➤ Les **Aires de manœuvres** et qui comportent :

- La piste ou les pistes d'envols, qui constituent les aires de décollage ou d'atterrissage pour les aéronefs.
- Les voies de relation, qui constituent les aires de circulation des aéronefs pour sortir ou rejoindre les aires de trafic ou de stationnement.

➤ Les **Aires de trafic** des aéronefs : Destinées à recevoir les avions pendant les opérations d'escale, comportent :

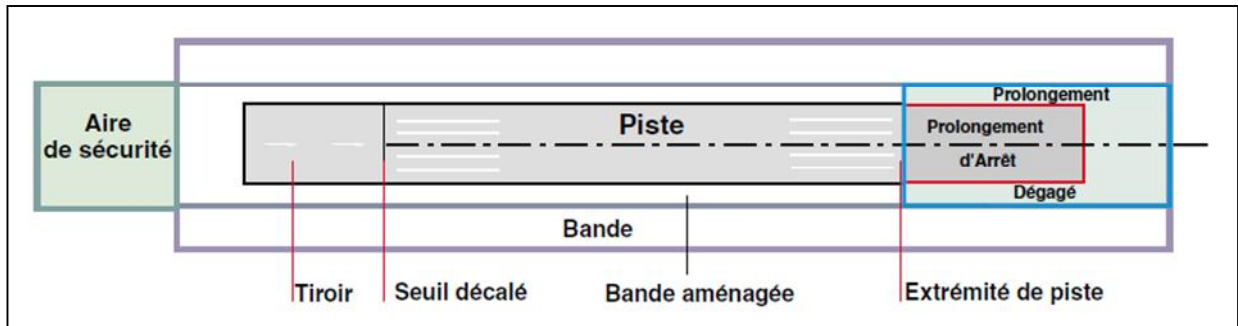
- Les **voies de desserte** servent à entrer ou sortir des aires de stationnement.
- Les **aires destinées au stationnement** des aéronefs en dehors des opérations d'escale.
- Les **aires d'entretien** destinées aux opérations d'entretien et de réparations.

Les principales aires de mouvement d'un aérodrome sont données dans la figure ci-dessous :



**Figure N° I.1:** Illustration sur les principales aires de mouvement d'un aérodrome.

Les différents éléments constitutifs d'une piste d'envol sont représentés dans la figure suivante:



**Figure N° I.2 : Piste et bandes de piste.**

## **2) Les Aéronefs :**

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

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

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

### **❖ Fiche technique du Boeing 737-800 :**

- Nombre de sièges : 186 (classe unique) ;
- Vitesse de croisière : 925 km /h ;
- Nombre de moteurs : 2 (CFM 56-7B27);
- Rayon d'action : 5400 km ;
- Longueur : 39,50 m ;
- Hauteur : 12,50 m ;
- Envergure : 34,40 m ;
- Surface alaire : 124,60 m<sup>2</sup> ;
- Poids maximal au décollage: 79 tonnes ;
- Plafond opérationnel : 12 500 mètres ;
- Premier vol : 31 juillet 1997.

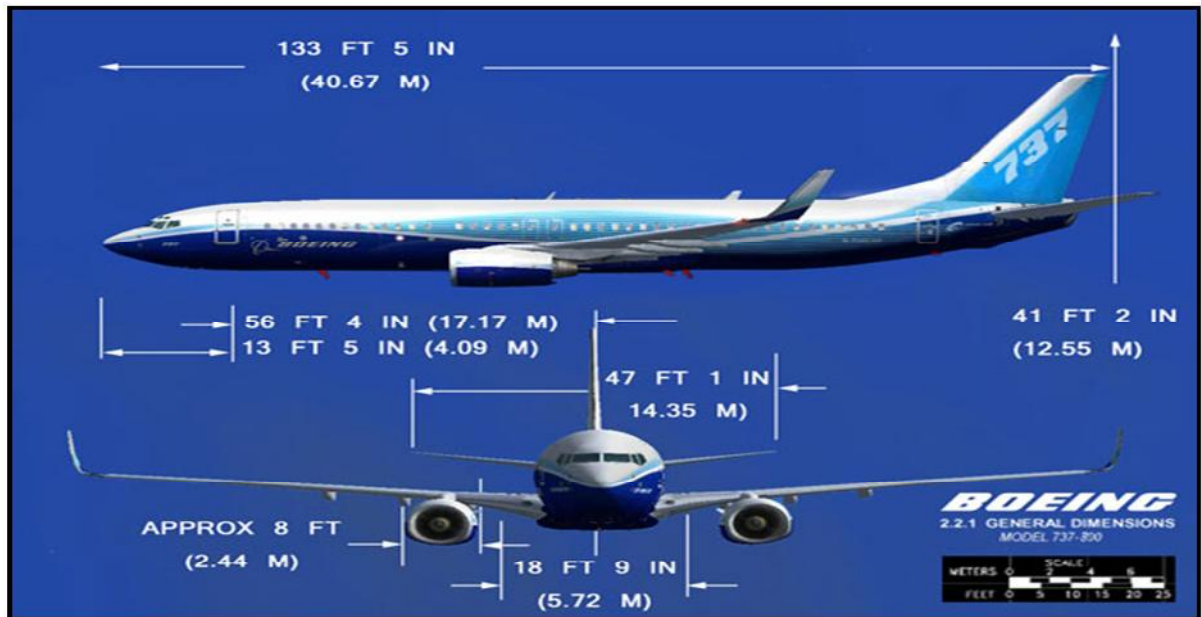


Figure N° I.3 : Caractéristiques géométriques d'un Boeing 737-800.

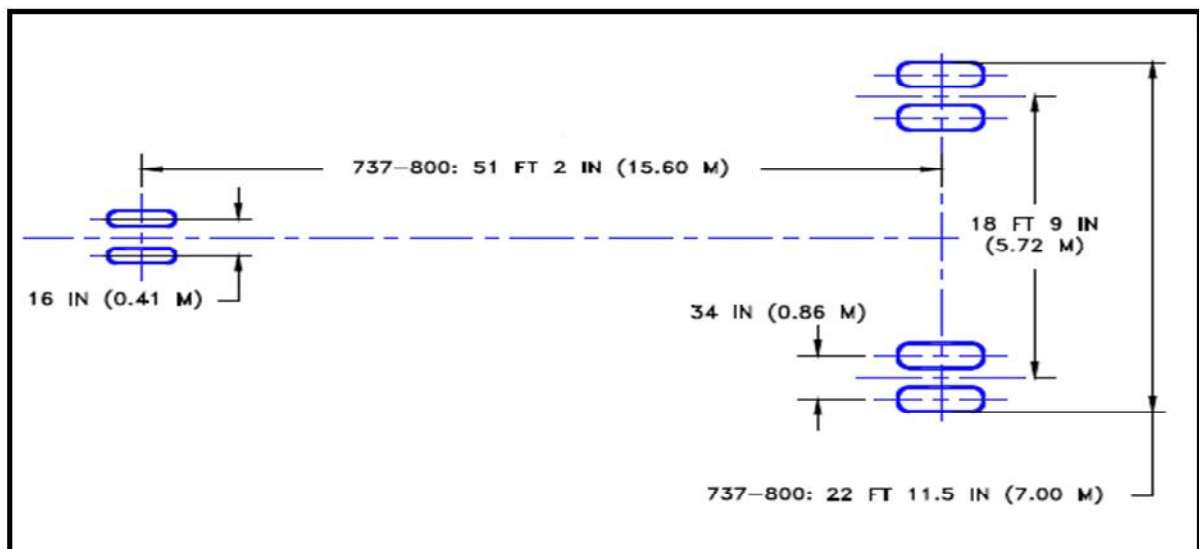


Figure N° I.4 : Schéma des atterrisseurs du Boeing 737-800.

✚ **NB :** Pour plus de détail concernant le Boeing 737-800 voir **Annexe N°I.1** et **Annexe N°I.2** joints.

### 3) Les Aérogaes :

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

L'infrastructure agit donc comme un fantastique "réservoir" qui alimente une flotte d'avions ; chacune des caractéristiques de l'aérogare génère donc des besoins spécifiques en espace tels que : Les zones de circulation des passagers et de leurs bagages ; les filtres (administratifs ou techniques, pour le passager ou ses bagages) ; ainsi que des surfaces d'attente.

Il est néanmoins important de souligner, en conclusion, que la conception d'une aérogare n'est pas une science exacte (cet ouvrage étant au cœur des interactions de différents environnements technique, politique, commercial et social, en perpétuelle évolution).

 **NB :**

Afin d'illustrer au mieux, le schéma du principe de fonctionnement d'une aérogare, est donné en **Annexe N°I.3**

**4) La Tour de contrôle et la Vigie :**

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

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

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

**III. Caractéristique du transport aérien :**

Les principales caractéristiques du trafic aérien sont les suivantes :

- Capacité individuelle ;
- Vitesse ;
- La régularité ;
- Sécurité ;
- Le confort ;
- Prix ;
- Rayon d'action : permet d'éviter les escales et les changements d'appareils (actuellement jusqu'à 9000 km).

**IV. Classification du transport aérien :**

On peut faire une classification suivant l'objet de transport soit:

- ✓ Transport des personnes avec bagages ;
- ✓ Transport de marchandises (fret).

Ou on peut aussi le classer suivant la longueur d'étape (Distance parcourue) :

- ✓ Les longs courriers  $\geq 3000$  km ;
- ✓ Les moyens courriers  $800 \text{ km} \leq L < 3000$  km ;
- ✓ Les simples courriers  $< 800$  km.

**V. Conclusion :**

Le transport aérien a pour vocation d'être un vecteur d'échanges entre les états. Dans un monde qui se veut aujourd'hui ouvert, la fiabilité et la rapidité des échanges (passagers et marchandises) sont des facteurs importants d'intégration et de développement économique.

Néanmoins pour assurer cette fiabilité et cette renommée acquise durant toutes ces années, ce mode de transport, qui est un mécanisme bien huilé mais très complexe, nécessite des moyens humains, matériels, et infrastructurels colossaux.

Nous, et autant que futur master (ingénieurs) en génie civil, notre but sera de porter un regard sur le volet infrastructurel du sujet dans tous ce qui va suivre.

# Chapitre II

## Présentation du projet

# Chapitre III

## Etude géotechnique du site

**I. Introduction :**

En génie civil, avant toute conception ou réalisation d'ouvrages, on doit mener au préalable une campagne de reconnaissance géotechnique, cette règle est d'autant plus réelle pour les infrastructures aéroportuaires, dont une bonne connaissance des caractéristiques du sol support est primordiale pour concevoir des chaussées assurant une sécurité maximale aux avions, et leurs usagers.

La SAETI a élaboré une feuille de route pour la campagne de reconnaissance géotechnique et les essais à effectuer ; cela dans le but d'amasser un maximum de données provenant de différentes zones des infrastructures de l'aérodrome ( Chaussée de la piste, Bretelles d'accès, Parking et sol support avoisinant la piste).

Cette campagne a été menée par le LTP Sud (laboratoire des travaux publics du Sud), **dont le rapport et les résultats nous ont été remis**, ce programme s'articule comme suit :

- ✓ Réalisation des sondages carottés sur les chaussées existantes ;
- ✓ Creusement des puits et prélèvements d'échantillons en vue d'identifier le sol support;
- ✓ Analyse en laboratoire des échantillons réalisés sur le sol support et la structure de chaussée.
- ✓ Mesure de la portance.
- ✓ Contrôle de l'UNI longitudinale et transversal.
- ✓ Rédaction d'un rapport détaillé des résultats avec interprétations.

**II. But de l'étude géotechnique :**

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

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

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

**III. Compagne de reconnaissance géotechnique :**

**1) Essais In Situ :**

**a) Sondages carottés :**

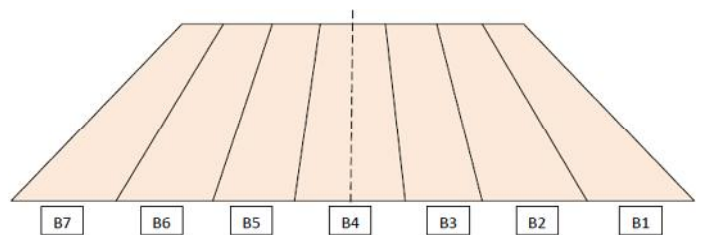
Les sondages carottés peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres de profondeur en utilisant des tubes avec couronnes diamantées, le principe est qu’après le carottage (forage) le matériau ressort comme son nom l’indique, en forme de carotte dont les propriétés ont été mise en évidences (Nature des couches, Épaisseurs, État...etc). Ces sondages doivent être réalisés dans des endroits bien distincts de façon à obtenir des résultats représentatifs, et cela au vue de l’incapacité à en réaliser un nombre importants, car ceux –ci coutent chère.

➤ Dans notre cas la procédure de réalisation a été la suivante :

**Subdivision de la piste**

La piste a été subdivisé en 07 bandes d’épandages ;

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





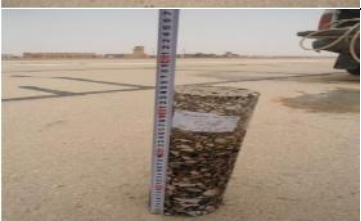





**Figure N° III.1:** Subdivision de la piste en bandes d’épandages.

Dans cette compagne, **11** sondages ont été réalisés (10 sur la Piste et 01 sur le Parking), chaque carotte a fait ressortir différentes couches de matériaux avec des épaisseurs différentes, dont les résultats sont les suivants ;

❖ **Résultats :** Le tableau suivant donne les positions des sondages, les épaisseurs des matériaux obtenus, et les photos des carottes :

PK [m]	Position	Épaisseur (BB) cm	Épaisseur (GB) cm	Accrochage	Photo de la carotte
0+100	Bande (B4) Au niveau de l’axe de la piste sur un joint longitudinal colmaté.	08.00	12.00	Mauvais	

0+300	Bande (B2) Sur une fissure transversale.	08.00	12.00	Bon	
0+500	Joint d'épandage colmaté entre les bandes (B5) et (B6).	08.50	15.00	Bon	
0+700	Bande (B2) sur un joint transversal colmaté.	08.00	23.00	Bon	
0+900	Bande (B3) sur une fissure longitudinale.	08.00	22.00	Mauvais	
1+200	Bande (B3) sur une zone intacte.	08.00	25.50	Bon	
1+600	Joint d'épandage entre (B5) et (B6)	08.00	16.00	Mauvais	
2+000	Bande (B6) sur une fissure longitudinale non colmaté	08.00	20.00	Mauvais	
2+500	Bande (B1) sur une fissure transversale non colmaté	08.00	21.50	Bon	



2+900	Bande (B4) sur l'axe de la piste.	08.00	22.00	Mauvais	
Parking	Sur une zone intacte.	32		Bon	

Tableau N° III.1 : Résultats des sondages carottés.

GB : Grave Bitumineuse.

BB : Béton Bitumineux.

#### ❖ Interprétation des résultats :

A l'issue de cette campagne de carottage, et suivant les résultats obtenu on peut déduire ce qui suit ;

- L'épaisseur de la couche bitumineuse (BB+GB) pour le tronçon compris entre PK 0+000 et PK 0+600 est d'environ 20 cm, et pour le reste de la piste elle avoisine les 30 cm;
- Les carottes prélevées au niveau des joints ont montrés que les fissures sont structurelles et profondes, elles se propagent vers les couches inférieures, le colmatage est superficiel et inadapté, l'accrochage des couches est mauvais (défauts structurels) ;
- Les conditions climatiques (effets des températures) ont influés négativement sur l'évolution de ces fissures.

#### b) Campagne de creusement des puits :

Ce sont des puits creusés à la main ou à la pelle mécanique, Ils peuvent atteindre plus de deux mètres de profondeur, leurs principal rôle est la mise en évidence de la nature des différentes couches du sol support et leur échantillonnage, pour la réalisation au laboratoire des essais d'identification et de détermination des propriétés physiques, mécanique et hydraulique du terrain avoisinent la piste d'envol.

Dans notre cas 06 puits de profondeur de 03 mètres environ ont été creusés à la pelle mécanique, ce qui a permis de distinguer les différentes couches du sol support.

✚ **NB :** L'emplacement des différents puits est indiqué dans le plan de creusement des puits en **Annexe N°III.1**

❖ **Résultats:** Le creusement des puits nous a donnés des couches de matériaux de différentes épaisseurs dont voici les résultats:

➤ **Puits N°1** Position : (N 27° 15' 31.8'' E 002° 31' 27.7'')

- 0 – 0.90 m : Limon sableux brunâtre ;
- 0.90 – 2.00 m : Sable grossier Beigeâtre à rougeâtre légèrement humide ;
- 2.00 – 2.80m : Argile verdâtre à violacé, humide ;



➤ **Puits N°2** Position : (N 27° 15' 31.7'' E 002° 31' 33.6'')

- 0 – 0.20 m : Limon sableux brunâtre ;
- 0.20 – 0.60 m : Sable grossier beige à Rougeâtre légèrement humide ;
- 0.60 – 3.00 m : Argile violacée humide ;



➤ **Puits N°3** Position : (N 27° 15' 41.7'' E 002° 31' 21.8'')

- 0 – 0.20 m : Sable grossier jaunâtre ;
- 0.20 – 0.70 m : Limon sableux brunâtre à marron ;
- 0.70 – 1.30 m : Sable grossier jaunâtre ;
- 1.30 – 3.00m : Argile violacée humide ;



➤ **Puits N°4** Position : (N 27° 15' 35.1'' E 002° 31' 12.3'')

- 0.00– 0.80 m : Limon sableux brunâtre a marron humide ;
- 1.30 – 3.00m : Argile violacée humide ;



➤ **Puits N°5** Position : (N 27° 14' 45.3'' E 002° 30' 05.2'')  
(Puits réaliser dans une zone basse).

- 0 – 0.20m : Sable grossier jaunâtre ;
- 0.20 – 3.00 m : Argile violacée Sèche ;



➤ **Puits N°6** Position : (N 27° 14' 35.0'' E 002° 30' 11.8'')

- 0 – 0.30 m : Sable grossier jaunâtre ;
- 0.30 – 1.40 m : Argile violacée Sèche et devient humide en profondeur ;
- 1.40 – 2.00 m : Sable grossier jaunâtre ;
- 2.00 – 2.40m : Argile violacée humide ;



Photos des puits réalisés.

**❖ Interprétation des résultats :**

A l'issue de cette campagne de creusement, nous pouvons déduire que le terrain support de la piste 05/23 est formé dans son coté Nord-est d'une couche de sable grossier et humide d'environ 70 cm d'épaisseur reposant sur une couche d'argile humide ; et du coté Sud-ouest par une couche d'argile violacée sèche à la surface avec du sable grossier, le tous reposant sur une couche d'argile humide.

Les couches de sable jouent le rôle de collecteur d'eau hydratant le sous-sol de la piste ; aussi à travers cette composition on peut déduire que le sol présentera une portance **Moyenne à faible** du faite qu'il n'est pas consolidé.

Ces sondages en puits combinés aux autres essais qui vont être réalisés en laboratoire sur les échantillons prélevés de ce sol, nous renseignerons d'avantage sur la nature de ce dernier.

**c) Mesure de la portance à l'aide du déflectomètre à masse tombante HWD :**

L'essai au déflectomètre HWD (Heavy Weight Deflectometer) est un essai non destructif destiner pour les études et contrôles des chaussées aéronautiques, il a pour objectif l'évaluation et l'estimation des conditions structurelles, actuelles et réelles de la chaussée exprimées en terme de **capacité de portance** et **durée de vie résiduelle**, ce qui constitue une aide efficace à la prise de décision dans la politique d'entretien des chaussées aéronautiques.

Le but ultime est de **prévoir les mesures à prendre à court et moyen terme** afin de permettre à la chaussée de se maintenir à un certain degré de performances mécaniques en répondant aux exigences du trafic actuel et futur.

Dans ce qui suit nous allons relater les résultats les plus importants obtenus lors de la campagne de mesure des déflexions de la chaussée au moyen du déflectomètre HWD.

** Présentation de l'appareil HWD :**

Le HWD (Heavy Weight Déflectomètre) est l'outil reconnu pour l'évaluation structurelle des chaussées aéronautiques (portance, modules des différentes couches, durée de vie résiduelle, ou renforcement à prévoir). Ce matériel est capable d'appliquer une charge dynamique sur une chaussée, par l'intermédiaire d'une force qui peut simuler le chargement d'une roue d'un avion de différentes catégories de chargement.

Pour la mesure des déflexions du corps de chaussée de la Piste 05/23, le déflectomètre lourd Dynatest HWD Modèle 8082-86 a été utilisé (voir photo en Figure N° III.2), celui-ci est monté sur une remorque et se compose de trois systèmes principaux:

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



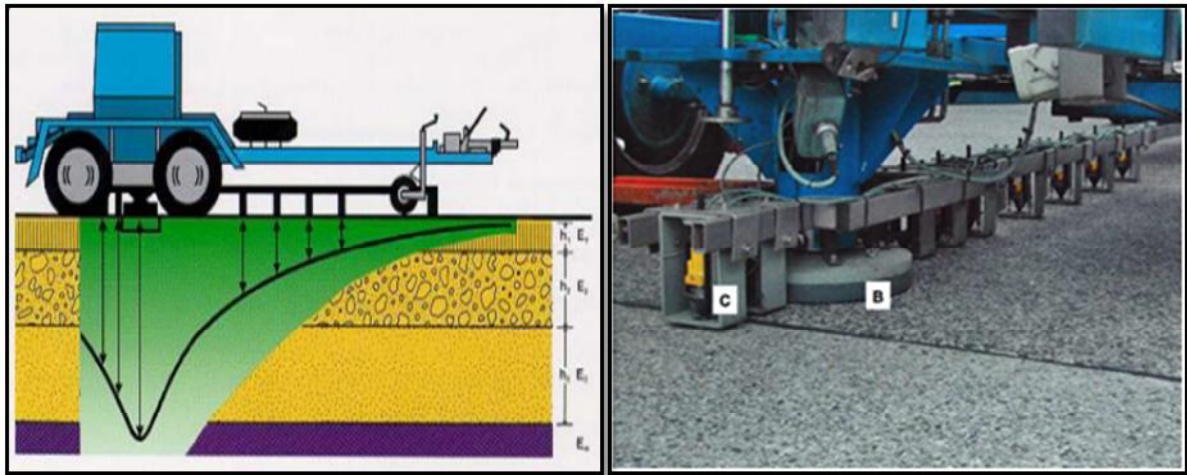
Figure N° III.2 : Photo du Dynatest HWD Modèle 8082-86.

#### Principe de mesure:

L'appareil HWD consiste à reproduire les sollicitations dues au passage d'un véhicule lourd ou d'un avion et à mesurer la réaction de la chaussée par le biais des bassins des déflexions, à l'aide de neuf (09) géophones (voir schéma en Figures N ° III.3 et III.4).

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

Le chargement dynamique produit est mesuré à l'aide d'une cellule adéquate, les charges peuvent varier de 40 à 180 KN selon le poids de la masse et la hauteur de chute. La charge utilisée pour l'analyse structurelle des chaussées aéronautiques dépend de l'avion le plus contraignant. Dans notre cas, une masse de 700 kg a été utilisée, la hauteur de chute « H » considéré dans les calculs est  $H = 400\text{mm}$ .



**Figure N°III.3 :** Principe de mesure des déflexions. **Figure N°III.4 :** Illustration sur les géophones.

La masse est laissée en chute libre grâce à un signal électrique ; l'impulsion est transmise par un amortisseur en caoutchouc à une enclume reposant sur une plaque d'acier circulaire de 300 ou 450 mm de diamètre (selon le diamètre de la roue de l'avion), la plaque peut s'incliner jusqu'à  $6^\circ$  par rapport à l'horizontale pour mieux épouser la forme de la surface.

Les déflexions enregistrées correspondent à 02 chutes successives du poids de 700 Kg à des hauteurs différentes (300 et 400 mm), la deuxième chute sera prise en considération et tous les calculs se feront sur la base des déflexions de cette chute. Les paramètres spécifiques au projet tels que la localisation du site et des essais, la configuration des géophones, la fréquence et l'intervalle des essais sont établis au préalable. Les diverses commandes nécessaires pour le déroulement des essais se font de l'intérieur du véhicule par un ordinateur relié au système d'acquisition des données.

#### **✚ Plan d'intervention dans le cas de notre projet :**

Afin de mieux couvrir la surface de la piste un plan d'intervention a été établi de façon à avoir le maximum de mesures de portance dans les bandes centrales de la Piste. Au total sept 07 profils ont été réalisés au niveau de la piste 05/23 en partant du seuil 05 vers le seuil 23. Le nombre total des points mesurés est de 478. Les intervalles de mesure au niveau de chaque profil et le nombre des points de mesure relatifs, ainsi que le plan de décomposition de la piste sont donnés dans en **Annexe N°III.2**.

Les géophones de 1 jusqu'à 9 sont disposés respectivement par rapport à la plaque de la manière suivante : 0 mm- 300 mm- 450 mm- 600 mm- 900 mm- 1200 mm- 1500 mm-1800 mm- 2250 mm (voir schéma du positionnement des géophones en **Annexe N°III.2**).

**✚ Résultats des déflexions :**

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

➤ **Profils Piste 05/23 :**

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

Tableau N° III.2 : Récapitulatif des déflexions enregistrées du PK0+000 au PK 0+600.

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

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

## ➤ Profils Parking :

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

Tableau N° III.4 : Récapitulatif des déflexions enregistrées sur le Parking.

✚ Résultats des modules de surfaces  $E_0$  :

Le module à la surface (surface modulus  $E_0$ ) est le module d'une seule couche équivalente qui va donner une déflexion en surface égale à celle enregistrée sur un système multicouche réel, Il permet aussi de constater la présence de couches souples ou rigides. Le module de surface  $E_0$  est un outil simple et pratique pour la détection de présence de couche faible, ainsi que le calcul des modules des couches inférieures de chaussée.

Un résumé des résultats obtenus est donné dans les tableaux récapitulatifs suivant, ils constituent les modules en surface du PK0+000 au PK 3+000 et du Parking :

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

Tableau N° III.5 : Moyennes des Modules en surface du PK0+000 au PK0+600.

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

Tableau N° III.6 : Moyennes des Modules en surface du PK0+600 au PK3+000.

		Emplacement des géophones par rapport à la plaque (mm)								
Profils	Nbre de points mesurés	0	300	450	600	900	1200	1500	1800	2250
		les modules en surface moyen (Mpa)								
<b>Park 01</b>	07	477	158	126	120	100	116	136	163	169
<b>Park 02</b>	07	572	195	156	149	125	144	166	198	209
<b>Park 03</b>	07	664	225	174	158	124	131	146	167	171
<b>Moyens</b>		<b>571</b>	<b>193</b>	<b>152</b>	<b>142</b>	<b>116</b>	<b>130</b>	<b>149</b>	<b>176</b>	<b>183</b>

Tableau N° III.7 : Moyennes des Modules en surface des 03 profils du Parking.

#### Interprétation des résultats :

On constate à travers les résultats des déflexions, qu'elles sont importantes pour le tronçon PK0+000 ET PK0+600 sur les bandes centrales et de rives, et uniquement sur les bandes de rives pour le tronçon PK0+600 à PK3+000, ces déflexions sont encore plus importantes sur l'aire de trafic.

Ceci s'explique par le fait est que, les avions sollicitent **plus** la piste sur son tronçon PK0+000 ET PK0+600 ; Zone ou l'avion reste le plus statique au décollage, et ou les vitesses d'évolution des aéronefs sont faibles ; mais les sollicitations les plus importantes sont sur l'aire de trafic ou les avions stationnent (statiques).

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

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

**✚ Définition et Principe de fonctionnement :**

L'UNI d'une chaussée est un critère de qualité géométrique, il caractérise l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée et donne une appréciation de l'état de planéité de cette dernière, par rapport à ses profils théoriques ; cette caractérisation est ainsi faite, en donnant à la piste un **Indice IRI** (Indice de **Rugosité International**) le quel varie entre **1** (pour une chaussée neuve) et **7** ou plus (pour une chaussée hors service), ( $1 \leq \text{IRI} \leq 7$ ).

Il est utilisé pour la réception des couches de roulement des chaussées neuve, ou pour le suivi de celles déjà réalisées.

Le principe consiste à mesurer les irrégularités de surface des profils de la chaussée, et les comparer à une référence horizontale d'un Pendule Inertiel. L'essai est réalisé à l'aide d'un APL (**A**nalyseur du **P**rofil en **L**ong), appareil disposant d'une ou deux roues palpeuses montées sur remorques (Véhicule) circulant à 72 Km/h. (Voir Figures N° III.5 et N° III.6).

L'analyseur Numérique (Logiciel APL 2000) embarqué à bord du véhicule, permet le dépouillement des mesures, l'interprétation des éventuels défauts, et donne un Profil longitudinal de la chaussée en termes d'Élévation (mm) par Distance(m), qui représente un signal aléatoire de cette dernière, qu'il est possible d'analyser grâce à un filtre (Butterworth), afin d'obtenir un Pseudo-profil.

A la fin de l'analyse l'APL nous donne un indice IRI en fonction **des bandes d'ondes choisies**.

- Bandes d'ondes = f (segments chaussée)
  - Segment de 20 m → Petites Ondes ( $0.7\text{m} \leq \lambda \leq 2.8\text{m}$ )
  - Segment de 100 m → Moyennes Ondes ( $2.8\text{m} < \lambda \leq 11.3\text{m}$ )
  - Segment de 200 m → Grandes Ondes ( $11.3\text{m} < \lambda \leq 45.2\text{m}$ )

**✚ Référence :** NF P98 218-3 Méthode d'essai LCP N 46 V.2.0

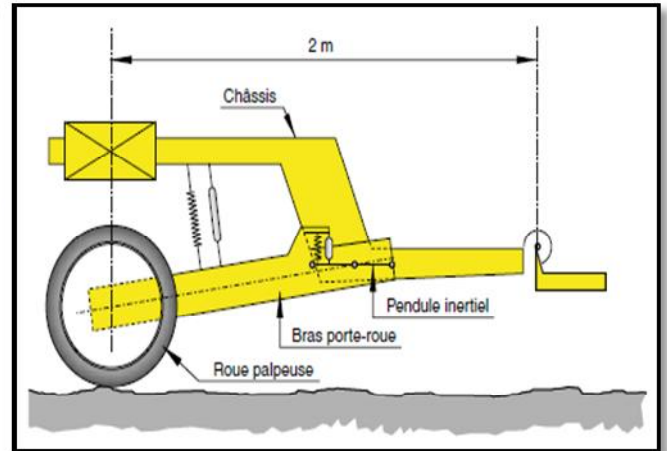


Figure N° III.5 : Illustration d'un APL.

Figure N°III.6 : Schéma d'une roue palpeuse.

**✚ Implantation des profils et plan d'intervention :**

Pour notre projet sept (07) profils de mesure ont été réalisés sur la Piste 05/23, les profils sont implantés de manière à recouvrir les aires les plus sollicitées de la piste. L'origine de tous les profils est le seuil 05 (Un Tableau de positions des profils et un schéma représentatif, ont été joints en **Annexe N°III.3**).

**✚ Résultats des Mesures :**

Le tableau suivant donne les valeurs moyennes d'IRI pour chaque profil, et pour les trois tronçons de la piste :

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

**Tableau N° III.8 : Résultats des Valeurs Moyennes de l'IRI pour la Piste 05/23.**

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

**NB :**

Les données enregistrées pour chaque profil, comportent deux (02) valeurs, Droite et Gauche car L'APL Utilisé comporte deux (02) traces (Roue Pulpeuse).

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

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

**Tableau N° III.9 :** Résultats des valeurs de l'IRI Max et leurs Pourcentage (Piste 05/23).

**Interprétation des Résultats :**

A la lumière des résultats obtenus et en comparaison avec les valeurs minimales de l'uni (données dans le tableau en **Annexe N°III.3**), on peut déduire ce qui suit :

- Les profils centraux (axe, 3.5d, 3.5g, 7d, 7g) présentent des pourcentages des valeurs d'IRI caractérisant l'état de planéité **“acceptable“** dépassent les **75 %**, et ceux caractérisant l'état de planéité mauvais varient de **01 à 1.98%** ;
- Les profils de rives (12d, 12g) présentent des pourcentages des valeurs d'IRI caractérisant l'état de planéité **“Moyens“** ne dépassent pas les **51 %**, et ceux caractérisent l'état de planéité mauvais varient de **4.95 à 10.56%**. Aussi on note la présence de quelques endroits où l'uni est jugée **très mauvais** ;
- Les profils (3.5d, 3.5g, 07d, 07g, 12d) présentent des valeurs maximales d'IRI au niveau de la **zone comprise entre PK0+200 et le PK0+210**.

 **NB :**

L'**essai d'Adhérence**, est tout aussi important pour caractériser l'état de surface des chaussées aéronautiques et doit normalement être réalisé, dans le cas de l'aérodrome de In Salah, et durant l'étude géotechnique cet essai **n'as pas été réalisé**.

Néanmoins nous avons jugé intéressant, et utile d'exposer en **Annexe N°III.4** la définition, l'utilité ainsi que le principe de réalisation de l'essai d'adhérence.

**2) Essais au laboratoire :**

A partir des échantillons prélevés des puits creusés au niveau du terrain avoisinant la piste, des essais en laboratoire ont été menés et cela, afin d'identifier et déterminer les caractéristiques mécaniques de ce sol.

Ces essais sont :

**a) Essais d'identification :**

❖ **Analyse granulométrique et sédimentométrique :**

L'essai consiste à faire passer un échantillon représentatif du sol à travers des tamis superposés, dont les ouvertures sont décroissantes de haut en bas, dans le but d'analyser la répartition des dimensions des grains du matériau. L'essai est effectué sur des échantillons prélevés dans différentes profondeurs de trois (03) puits représentatifs (P2, P3, P6). Les résultats de l'essai sont donnés dans le **Tableau N°III.10**.

❖ **Limites d'Atterberg :**

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

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

$$I_c = \frac{(W_l - W)}{(W_l - W_p)} = \frac{(W_l - W)}{I_p} \quad (\text{Les résultats sont donnés dans le Tableau N°III.10})$$

**❖ Teneur en eau et Densité :**

Ces essais servent à classer mécaniquement le sol support et la couche de fondation, afin d'apprécier la densité et le compactage de ces derniers. Ceci intervient après détermination de la teneur en eau naturelle  $W_{in-situ}$ , de la densité sèche  $\gamma_d$ , et la densité humide  $\gamma_h$ . Les résultats sont donnés dans le **Tableau N°III.10**.

**❖ Analyse chimique sommaire :**

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

Les résultats des analyses sont exposés dans le **Tableau N°III.10**.

**b) Essais mécaniques :****❖ Essai CBR « Californian Bearing Ratio » :**

C'est un essai qui a pour objectif d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, et ce afin de pouvoir dimensionner la chaussée. L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement, en les compactant dans des moules à la teneur en eau optimale (PROCTOR modifié) avec différentes énergies de compactage. L'essai CBR a été réalisé avec une énergie de compactage de 55 coups par couche pour chaque puits, le Résultat est que notre sol est de **CBR = 05% (Sol Argileux)**.

c) Synthèse et interprétation de tous les résultats des essais en laboratoire :

Les résultats sont regroupés dans un seul et même tableau qui est le suivant :

N° Puits	Analyse Granulométrique						Limite d'atterberg			Teneur en eau %	Densité g/cm <sup>3</sup>		Analyse chimique			OBS
	<5 mm %	<2 mm %	<0.2 mm %	<0.08 mm %	<0.0 2m m%	<0.00 2mm %	WL (%)	WP (%)	IP (%)		Densité humide	Densité sèche	INS (%)	SO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	
P2 (0.6-3.00)	100	100	85	80	77	30	53.85	29.44	24.41	16.98	2.03	1.74	84.9	0.48	03	Argile
P3 (1.3-3.00)	100	99	96	95	86	43	73.06	30.19	42.87	22.13	1.92	1.57	82.1	1.89	02	Argile
P6 (0.3-1.40)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	19.55	2.06	1.72	/	/	/	Argile
P6 (1.4-2.00)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	3.31	/	/	/	/	/	Sable
P6 (2.0-2.40)	100	100	92	89	83	44	65.25	32.53	32.72	17.47	2.01	1.71	87.4	/	02	Argile

**Tableau N° III.10:** Résultats des tous les essais au Laboratoire.

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

**IV. Conclusion :**

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

# Chapitre IV

## Dégradations et Auscultations des chaussées aéronautiques

### **IV.1. Dégradations des chaussées aéronautiques :**

#### **IV.1.1. Introduction :**

Les chaussées aéronautiques sur les quelles circulent, manœuvrent et stationnent les avions, sont classiquement conçues avec des matériaux dont la durée de vie est généralement de 10 ans pour les chaussées souples (bitumineuses), tandis que pour des chaussées rigides elle est portée à 20 ans.

Inévitablement, avec le temps, apparaissent des dégradations, soit fonctionnelles, soit structurelles, pouvant conduire à la ruine totale de l'infrastructure. Pour éviter cela, un suivi régulier de ces dernières est une obligation faite aux gestionnaires d'aérodromes ouverts à la circulation aérienne publique. Il doit leurs permettre de se rendre compte de l'évolution, sous le trafic réel, de ces ouvrages dont ils ont la charge et d'être en mesure d'intervenir à temps pour les maintenir en bon état de fonctionnement ou à défaut, d'en modifier les charges admissibles déclarées. En effet le suivi et l'inspection de ces différentes infrastructures constitue l'une des étapes les plus importantes et décisives dans la méthodologie d'étude des solutions possibles, et de prise de décisions.

#### **IV.1.2. Généralités sur les dégradations des chaussées aéronautiques :**

Le traitement des désordres est une opération d'entretien très courante en raison de la fréquence des dégradations des chaussées, résultant elles-mêmes de causes aussi nombreuses que variées : charges répétitives localisées, fluage latéral par défaut de compactage, ouvertures des joints entre passes de finisseur, vieillissement de chaussées peu utilisées, remontées de fissures...etc.

Ces interventions ont pour principaux objectifs : d'améliorer l'étanchéité et l'état de surface (uni, adhérence,..) de la chaussée, et d'apporter des solutions aux différents désordres.

#### **IV.1.3. Définition d'une dégradation:**

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

Les déformations et les fissurations affectent généralement les couches inférieures pour atteindre le revêtement, tandis que les arrachements prennent naissance et évoluent dans couche de surface. Elles sont classées en familles selon que les chaussées soient souples ou rigides.

### **IV.1.4. Familles des dégradations :**

De manière à uniformiser les appellations, nous présentons une liste, qui ne serait être exhaustive, des principales dégradations pour les deux types de chaussées (Souples ou Rigides) avec leurs dénominations habituelles, illustrations, et une définition pour chacune.

#### **a) Cas des chaussées souples :**

On peut distinguer **4 familles** principales de désordres dans une chaussée souple qui sont les suivantes :

Famille des **fissures** ; Famille des **arrachements** ; Famille des **déformations** ; et les **autres dégradations**.

#### **1. Les Fissures :**

##### **❖ Fissures de fatigue (IS3):**

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

##### **➤ Causes possibles :**

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



Fissure de fatigue avec départ de matériaux.

### ❖ Fissure de retrait (IS7) :

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

#### ➤ Causes possibles :

- Retrait thermique des couches sous-jacentes traitées aux liants hydrauliques ;
- Remontées des joints de dalles sous-jacentes (effets thermiques sur les dalles, battements de dalles sous trafic).

### ❖ Faïençage de fatigue (peau de crocodile) (IS4) :

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

#### ➤ Causes possibles :

- Fatigue excessive de la chaussée ou sous-dimensionnement du corps de chaussée ;
- Mauvaise qualité des matériaux de certaines couches de la chaussée;
- Evolution d'un faïençage de retrait.

### ❖ Faïençage de retrait (IS8) :

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

#### ➤ Causes possibles :

- Effets thermiques dans la couche de roulement.



Fissures de retrait.



Faïençage de fatigue.



Faïençage de retrait.

### ❖ Fissuration des joints (IS6) :

Fissure située sur un joint, il faut entendre par « Joint » le raccordement longitudinal entre deux bandes d'épandage de la couche de roulement, ou transversal à la reprise de bande, ou délimitation entre zones de structures différentes.

#### ➤ **Causes possibles :**

- Défaut de mise en œuvre de la couche de roulement (mauvais collage entre bandes lors d'une reprise d'épandage en particulier)
- Discontinuité de structure (souple et rigide).

### ❖ Fissures paraboliques / Enrobé tiré (IS10):

Fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement. Elles peuvent être accompagnées de bourrelets.

#### ➤ **Causes possibles :**

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

### 2. Les Arrachements :

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

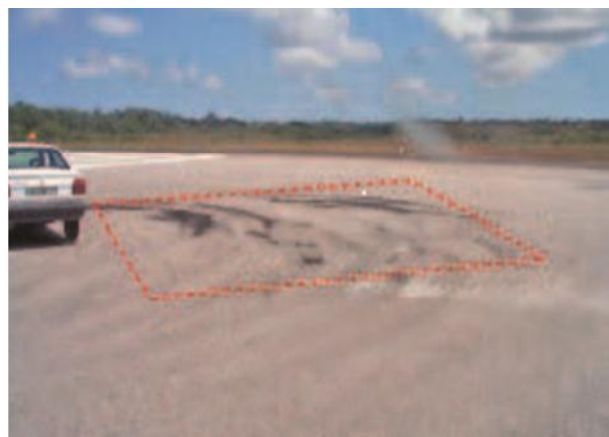
❖ Pelade (IS5) : C'est le décollement de la couche de roulement par plaques.

#### ➤ **Causes possibles :**

- Epaisseur insuffisante de la couche de roulement
- Défaut d'accrochage entre les couches.



Fissure de joint entre deux bandes d'épandage.



Fissures paraboliques.



Pelades.

### ❖ Nids de poule (IS14) :

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

#### ➤ **Causes possibles :**

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

❖ Désenrobage / brûlures (IS5): Séparation du mastic (liant + fines) et des granulats avec un éventuel départ de ces derniers.

#### ➤ **Causes possibles :**

- Vieillesse du liant ;
- Mise en œuvre sous conditions météorologiques défavorables ;
- Actions physico-chimiques dues aux méthodes de déglçage ou aux méthodes de dégomme ;
- Stagnation d'eau sur la chaussée ;
- Brûlures dues au souffle des réacteurs.



Nids de poule



Désenrobage.

### 3. Les Déformations:

Elles prennent généralement naissance dans le corps de chaussée, on distingue :

❖ Bourrelet (IS12): Gonflement de la structure dans le profil en long, profil en travers, ou sur un point localisé.

#### ➤ **Causes possibles :**

- Fluage des enrobés sous des efforts tangentiels importants (freinage ou chocs des avions) ;
- Gélivité ou propriétés gonflantes du sol support ;
- Dilatation thermique des couches sous-jacentes.
- Effets thermiques sur des couches de surface aux raccords de structures de natures différentes.



Bourrelets

❖ **Flache (IS1):** Dépression localisée sur la surface de la chaussée, généralement de forme elliptique ou arrondie.

➤ **Causes possibles :**

- Défaut de surfacage lors de la mise en œuvre de la couche de roulement ;
- Compacité des couches ponctuellement insuffisante;
- Tassement des couches inférieures ou du sol support, drainage déficient.



Flaches sur voie de circulation.

❖ **Ornière / Frayée (IS2):**

Dépression longitudinale de faible rayon transversal apparaissant dans les traces des atterrisseurs et éventuellement accompagnée d'un fluage des enrobés se matérialisant par un bourrelet en bordures de la déformation. Elle se rencontre généralement sur les postes de stationnement et sur les voies de circulation.

➤ **Causes possibles :**

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



Ornière / Frayée

❖ **Déformation en « W » (IS11):** Dépression longitudinale de grand rayon transversal, située de part et d'autre de l'axe de la voie de circulation dans le passage des atterrisseurs principaux des avions, et dont les largeurs varient entre 5 et 7m.

➤ **Causes possibles :**

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



Déformation en W

### ❖ Tassement Différentiel:

Dénivellation généralement transversale.

#### ➤ **Causes possibles :**

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



Tassement différentiel (marche).

### 4. Les Autres Dégradations :

#### ❖ Contamination, Souillure (IS 15) :

Observée généralement sur les aires de stationnement, c'est une pénétration dans l'enrobé de produits chimiques ayant un pouvoir solvant sur le bitume.

#### ➤ **Causes possibles :**

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



Contaminations (souillures) fuite d'huile.

#### ❖ Empreinte, Poinçonnement (IS 17) :

Enfoncement localisé du revêtement ou impression en relief localisée à la surface de la chaussée

#### ➤ **Causes possibles :**

- Stabilité insuffisante des couches traitées aux liants hydrocarbonés ;
- Surcharge statique exercée par des aéronefs en stationnement ou des matériels aéroportuaires (porte-conteneurs, passerelles d'embarquement...);
- Ramollissement de l'enrobé au droit des zones contaminées.



Empreintes (poinçonnements).

### ❖ Enrobé poreux (IS 18) :

Enrobé ayant un aspect ouvert, soit au milieu de la bande d'épandage, soit au niveau du joint entre bandes.

#### ➤ **Cause possibles :**

- Défaut de fabrication ou de mise en œuvre de l'enrobé (mauvaise formulation, compactage insuffisant).

### ❖ Remontée d'eau (IS 19) :

Apparition de zones humides à la surface de la chaussée.

#### ➤ **Causes possibles :**

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

### ❖ Ressuage (IS21) :

Remontée de mastic (liant + fines) à la surface du revêtement.

#### ➤ **Causes possibles :**

- Surdosage en liant ;
- Bitume trop moue (liant mal adapté) ;
- Sur-compactage.

### **b) Cas des chaussées rigide**

On peut distinguer 03 familles principales de désordres dans une chaussée rigide qui sont les suivantes :

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



Enrobé poreux: (présence de mousse).



Remontée d'eau: vue rapprochée.



Ressuage.

En effet, il est possible de les classer suivant plusieurs critères :

- Leur nature (par exemple : famille des fissures, famille des déformations...)
- Leur origine (insuffisance structurelle ou défaut de surface) ;
- L'objectif de l'entretien qui leur correspond (conservation des qualités structurelles, intégrité de la surface,...) ;

### 1. Dégradations de structure :

❖ **Fissure (IS01) :** Rupture superficielle de dalle en deux morceaux.

➤ **Causes possibles :**

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



Fissure de dalle.

❖ **Cassure ou fissure d'angle (IS03) :**

Fissure ou rupture de la dalle en deux morceaux, cette rupture est située dans le quart de la dalle adjacent au coin considéré.

➤ **Cause possible :**

- Mauvaises conditions d'appui, de transfert et de répartition des charges sur la dalle.



Fissure en coin (cassure d'angle) mal réparée.

❖ **Décalage (IS09) :**

Ecart de niveau entre deux dalles successives.

➤ **Causes possibles :**

- Pompage ;
- Tassement différentiel du sol de fondation.



Décalage niveau de gravité élevé.

❖ **Pompage (IS08)** : Cavité, qui se forme sous les dalles, et se remplit d'eau et de boue.

➤ **Cause possibles :**

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

❖ **Fracture (IS02)** : Rupture profonde de la dalle soit, longitudinale, transversale ou oblique.

➤ **Causes possibles :**

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

### 2. Dégradations de surface:

❖ **Epaufiture (IS04)**: Désintégration superficielle de la dalle en niveau du joint.

➤ **Causes possibles :**

- Présence de matériaux incompressibles dans les joints (défaut d'entretien des joints) ;
- Faiblesse du béton face aux sollicitations dynamiques amplifiée par le sciage du joint (effet d'entaille) ;
- Résistance à la compression du béton insuffisante ;
- Détérioration locale du béton par un sciage prématuré.



Pompage identifié par les dépôts de fines.



Fracture de la dalle.



Épaufrure à niveau de gravité élevé (départ de matériaux).

❖ **Faïençage / Ecaillage (IS05):** Ensemble de fissures formant un maillage serré affectant la surface de la dalle pouvant évoluer vers l'écaillage.

➤ **Causes possibles :**

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

### 3. Autres dégradations :

❖ **Soulèvement des dalles :**

Dénivellation transversale importante au niveau des joints.

❖ **Ejection du joint :**

Matériau éjecté du joint de dilatation.

❖ **Remontée de mortier :**

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

❖ **Glaçage :**

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

#### c) Cas commun pour chaussées souples et rigides :

❖ **Dépôt de gomme Ch.Souple (IS 16), Ch.Rigide (IS 10) :**

Dépôt de caoutchouc localisé dans les zones de touché des roues.

➤ **Cause possibles :**

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



Faïençage: Niveau de gravité léger.



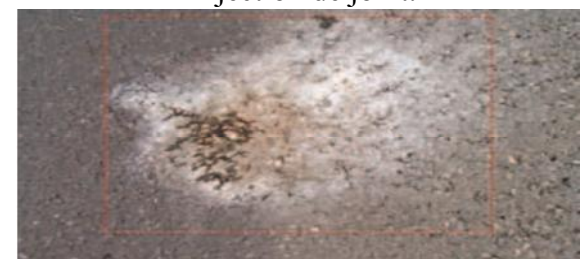
Ecaillage Niveau de gravité élevé.



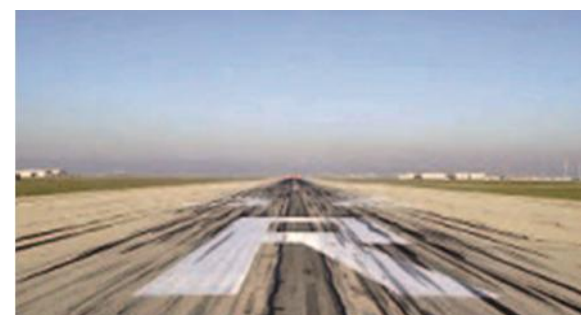
Soulèvement des dalles.



Ejection de joint.



Remontée de mortier.



Dépôt de gomme.

### ❖ Marche:

- **Chaussée souple (IS 13):** Dénivellation généralement transversale.
- **Chaussée rigide (IS 9):** Différence de niveau entre deux dalles successives.

#### ➤ **Cause possibles :**

- Pompage ;
- Tassement différentiel du sol de fondation.

### ❖ Réparations ponctuelles dégradées Chaussée souple (IS 9), Chaussée rigide (IS 6):

Réparation ponctuelle, quelle que soit son origine, et présentant des dégradations sur sa surface, ou sur son contour.

#### ➤ **Cause possibles :**

- Défaut de mise en œuvre des matériaux d'apport (défaut de compactage fréquent).

### ✚ Remarque :

Le catalogue du S.T.B.A permet de classer les dégradations selon leurs catégories et donne un **CODE IS** à chaque dégradation et le type de chaussée qu'elle affecte. Un tableau de ces **CODES IS** a été Joint en **Annexe N°IV.1**.

### **IV.1.5. Facteurs influent sur les dégradations :**

Une dégradation de chaussée peut avoir plusieurs causes qui sont généralement reliées et complexes, on peut distinguer quelques facteurs essentiels :

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



Décalage (marche).



Réparation ponctuelle dégradée avec départ de matériaux.

### **IV.1.6. Conséquences et évolutions des dégradations :**

#### **1. Chaussée souple :**

##### **➤ Famille des déformations :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS (1)-(2)-(12)-(13)</b> Flache ; Gonflement ; Ornière ; Tassement différentiel.	Altération de l'uni
<b>IS (1)-(2)-(11)</b> Déformation en (W) ; Flache ; Frayée	Rétention d'eau pouvant entraîner une diminution de l'adhérence et un risque d'aquaplanage (cas de piste)
<b>IS (1)-(2)-(11)</b> Flache ; Frayée ; Déformation en (W)	Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée
<b>IS (1)-(11)</b> Flache ; Déformation en (W)	Désenrobage
<b>IS (2)</b> Frayée	Fissuration et Faïençage de fatigue
<b>IS (12)</b> Bourrelet ; Gonflement	Perte de cohésion des couches de chaussées ; Détachement des couches avec accumulation d'eau et risques de dégradation par gel ; Fissuration

##### **➤ Famille des fissures :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS (3)-(4)-(6)-(7)-(8)-(10)</b> Fissure de fatigue ; Faïençage de fatigue ; Fissure de joint ; Fissure de retrait; Fissures paraboliques; Faïençage de retrait	Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée Départs de matériaux
<b>IS (3)-(8)</b> Fissure de fatigue ; Faïençage de retrait	Faïençage de fatigue
<b>IS (4)</b> Faïençage de fatigue	Nids de poule

## **Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques**

### ➤ **Famille des arrachements :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS(5)</b> Pelade ; Désenrobage ; Brûlure	Altération de l'étanchéité ; Nids de poule ; Altérations de l'uni
<b>IS (14)</b> Nid-de-poule	Atteinte à la sécurité des vols en phase de roulage (absorption des granulats par les réacteurs) ; Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée.

### ➤ **Autres dégradations :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS (15)-(18)-(19)-(20)</b> Souillure ; Remontée de fines ; Remontée d'eau ; Enrobé poreux	Désenrobage
<b>IS (15)</b> Souillure	Pelade
<b>IS (16)-(18)-(19)-(20)-(21)</b> Dépôt de gomme ; Enrobé poreux ; Remontée d'eau ; Remontée de fines ; Ressuage	Altération de l'adhérence Nids de poule
<b>IS (17)</b> Poinçonnement	Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée
<b>IS (18)</b> Enrobé poreux	Altération de l'étanchéité
<b>IS (19)</b> Remontée d'eau	Désagrégation des couches inférieures du corps de chaussée
<b>IS (19)-(20)</b> Remontée d'eau Remontée de fines	Chaussées gélives Chute de portance
<b>IS (19)</b> Remontée d'eau	Remontée de fin
<b>IS (20)</b> Remontée de fines	Désagrégation des matériaux du corps de chaussée

## **2. Chaussées rigides :**

### ➤ **Dégradations de surface :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS (4)</b> Épaufrure	Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée
<b>IS (4)-(5)</b> Épaufrure ; Écaillage	Départs de matériaux
<b>IS (5)</b> Écaillages	Porosité du béton néfaste dans les régions soumises au gel ; Altérations de l'uni

## **Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques**

### ➤ **Dégradation de la structure :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS (1)-(2)-(3)</b> Fissure ; Fracture ; Cassure d'angle (Fissure en coin).	Départ de matériaux ; Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée
<b>IS (1)</b> Fissure	Modification des conditions du fonctionnement (perte de portance des dalles) ; Fracture
<b>IS (1)-(2)-(3)-(9)</b> Fissure ; Fracture; Cassure d'angle ; Marche ; Décalage.	Altération de l'uni
<b>IS (3)-(2)-(9)</b> Cassure d'angle ; Fissure en coin; Marche ; Décalage	Modification des conditions de fonctionnement (transfert de charges)
<b>IS (3)-(2)</b> Cassure d'angle; Fracture	Affaissements localisés
<b>IS (3)-(2)-(8)-(9)</b> Cassure d'angle; Fracture ; Décalage ; Pompage	Altération de l'adhérence
<b>IS (8)</b> Pompage	Formations de cavités dans la couche de fondation Mise en marche des escaliers (battement des dalles) Chute de portance

### ➤ **Dégradation de joint :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolutions</b>
<b>IS (7)</b> Défaut de joint	Infiltrations d'eau dans le corps de chaussée ; Accumulation de cailloux, de terre ou de végétation (en général) ; Risques d'épaufrure.

### ➤ **Autres dégradations :**

<b>Dégradations et Codes IS</b>	<b>Conséquences et évolution</b>
<b>IS (10)</b> Fissures Paraboliques	Altérations de l'adhérence

### **IV.2. Auscultation des chaussées Aéronautiques :**


#### **IV.2.1. Introduction :**

La sauvegarde en état optimal de service, et la gestion (prise de décisions d'intervention) des chaussées aéronautiques supposent, une auscultation et un suivi régulier et rigoureux de ces dernières; ces opérations sont réalisées suivant les recommandations des catalogues de L'ITAC et du STBA.

L'examen des chaussées doit porter à la fois sur les caractéristiques de surface, c'est à dire sur celles qui ont trait à son intégrité, à son UNI et à son Adhérence, ainsi que sur les caractéristiques structurelles dont dépend la portance de l'ensemble chaussée - sol support ; Mais aussi sur l'inspection de l'état du réseau d'assainissement et de drainage.

On distingue plusieurs méthodes et essais d'auscultations, selon les caractéristiques qu'on a pour but de mesurer, et qui sont les suivantes :

- Pour estimer l'ensemble des caractéristiques d'une chaussée on a recouru à la méthode la plus complète et la plus utilisée qui est « **La méthode de l'indice de service** ».
- La portance, et la détermination des caractéristiques résiduelles d'une chaussée sont évaluées à l'aide des essais qui conviennent tels que : l'essai au HWD, essai de plaque, essai au Radar géologique, et Méthode inverse de dimensionnement.
- Pour ce qui est de l'UNI, il est caractérisé par l'essai à l'APL.
- L'Adhérence, elle, est caractérisée par l'essai de glissance (IMAG).
- L'état du réseau d'assainissement et de drainage est vérifié, grâce à des inspections périodiques.

 **NB :** Dans le cas de notre projet, et afin d'avoir les résultats nécessaires à l'étude du renforcement, les essais au HWD, L'UNI, ont été réalisés dans la compagnie géotechnique ; pour avoir tous les détails, se référer au **chapitre précédent (Etude géotechnique pages 18-26)**.

#### **IV.2.2. Méthodes d'auscultation des chaussées aéronautiques :**

L'évaluation des chaussées aéronautiques, dans le cadre de son suivi est une opération très complexe qui nécessite la synthèse des éléments suivants:

- Données climatologiques (pluviométrie, gel,...) ;
- Données géotechniques et hydrogéologiques (épaisseurs des couches, identification du sol support, présence de nappe phréatique...etc.) ;
- Informations sur la réalisation de la chaussée ainsi que sur les éventuels travaux antérieurs (entretiens, renforcements,...etc.) ;
- Observations de l'état de surface de la chaussée (relevé des dégradations) et examen du système de drainage ;
- Mesures non destructrices permettant de déterminer certains paramètres en rapport avec les caractéristiques de la chaussée (Uni, glissance, portance).

Pour l'obtention de ces éléments, **le choix des méthodes d'auscultation** à utiliser est très important, de ce fait ces méthodes et leurs objectifs sont développés dans les paragraphes qui suivent.

### **1. Méthode de l'indice de service :**

Cette méthode se base sur l'inspection visuelle des infrastructures, et consiste à relever visuellement toutes les dégradations (Fissurations, déformations, désenrobage, etc...) qui se manifestent en surface des chaussées. L'objectif est de relever non seulement les types de dégradations, mais aussi leurs étendues et leurs états de gravité.

L'intérêt d'une utilisation approfondie des relevés visuels, a alors conduit à l'élaboration d'une méthode permettant de définir un indicateur numérique appelé « **Indice de Service** ».

Sa valeur est établie à la suite d'une étude sur les relevés cités précédemment, dont le traitement est ensuite assuré au moyen d'un logiciel mis au point par le Service Technique des Bases Aériennes.

Sur les aérodromes les plus importants, qui ne tolèrent aucune interruption de trafic, on leur préfère une auscultation à grand rendement (visualisation vidéo, analyse d'images, repérage G.P.S., cartographie S.I.G.) privilégiant la détection des signes précurseurs permettant elle-même de programmer un entretien préventif.

#### **a. Principe de la méthode :**

En premier lieu, on doit décomposer la chaussée en question, en plusieurs sections caractéristiques (suivant l'âge, la composition du corps de chaussée, et la nature du trafic reçu), la procédure consiste à enregistrer les dégradations observées, sur chaque section (qui est elle-même devisée en mailles), conformément aux recommandations du Catalogue des dégradations édité par le S.T.B.A, et traiter ces données, à l'aide du programme informatique élaboré par ce dernier, afin de calculer pour chaque maille **un indice de service élémentaire**.

## **Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques**

---

L'indice de Service « **IS** » est un indicateur numérique représentatif de l'état de la chaussée. Il peut prendre des valeurs comprises entre **0 (chaussée hors service)** et **100 (chaussée neuve)**, ainsi sa valeur croît avec le niveau de service offert par la chaussée.

Cet indicateur d'état caractérise notamment la portance, l'uni, l'adhérence et l'état de surface des structures de l'aérodrome.

### **b. Relevés des dégradations :**

L'outil indispensable à tout relevé visuel est le **Catalogue des dégradations** édité en décembre 1984 il recouvre tous les types de structures de chaussées et les répartit en deux (02) groupes distincts : chaussées souples et chaussées rigides.

Chaque dégradation y est illustrée, définie, appréciée (niveaux de gravité, unité de relevé) et analysée (causes et conséquences).

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

- Sur une piste, le relevé s'effectuera toujours à partir du **QFU** de plus faible valeur tandis que, sur les bretelles, il sera exécuté à partir de l'extrémité au contact de la piste.
- Le relevé sera effectué au minimum par deux personnes.
- La délimitation au sol des mailles de relevé utilisera au maximum les caractéristiques physiques de la chaussée.

Pour chacune des mailles d'une chaussée (souple ou rigide), chaque dégradation relevée sera répertoriée à l'aide du triplet d'informations suivant :

- Le type de la dégradation,
- Son niveau de gravité (léger, moyen, élevé),
- Sa surface ou son linéaire (l'étendue).

Et enfin, un indice de service élémentaire est calculé pour chaque maille.

### **c. Calcul de l'indice de service de la chaussée :**

Le principe est que, chaque triplet d'information (Type de dégradation, Niveau de gravité, Densité) passe à **une valeur numérique significative** de l'influence de cette dégradation, sur les qualités de la chaussée.

## **Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques**

Un abaque **propre au type de dégradation** considérée permet, dans un premier temps, de faire correspondre à chaque triplet une **valeur déduite (VD)**. Une autre valeur dite, **valeur déduite totale (VDT)** est, en suite, obtenue par **l'addition** de toutes les valeurs déduites correspondant aux diverses dégradations relevées sur une même maille. Cette VDT est introduite dans un second abaque **attaché au type de chaussée**, et cela dans le but d'être corrigée, en fonction du nombre de dégradations significatives « **q** » (dont les valeurs déduites sont supérieures à 5), on obtient ainsi la valeur déduite corrigée de la maille considérée (**VDC**).

L'indice de la maille est égal au complément à 100 de la **valeur déduite corrigée** de cette dernière.

$$IS_{\text{maille}} = 100 - VDC$$

Finalement, l'indice de service (**IS**) de la section caractéristique, sera **la moyenne arithmétique** des indices de services de ses différentes mailles.

$$IS_{\text{section}} = \frac{IS_{\text{mailles}}}{\text{Nombres de mailles}}$$

Le tableau suivant, permet d'apprécier le niveau de service, offert par la chaussée, en fonction de la valeur de son indice de service « **IS** » :

<b>INDICE DE SERVICE (%)</b>	<b>NIVEAU DE SERVICE</b>
<b>0 - 10</b>	Hors service
<b>10 - 25</b>	Très mauvais
<b>25 - 40</b>	Mauvais
<b>40 - 55</b>	Passable
<b>55 - 70</b>	Moyen
<b>70 - 85</b>	Bon
<b>85 - 100</b>	Très bon

**Tableau N° IV.1 : Tableau de référence de l'indicateur de service.**

On peut distinguer plusieurs indices de service :

➤ **IS Global:**

Indice de service calculé à partir du traitement de toutes les dégradations rencontrées sur la chaussée qui donne son **état global**.

➤ **IS Structurel :**

Indice de service calculé uniquement à partir des dégradations révélant un **défaut de portance**.

➤ **IS Superficiel :**

Indice de service calculé uniquement à partir des dégradations révélant un **défaut de surface**.

### **2. Evaluation de la portance et des caractéristiques résiduelles de la chaussée :**

Ils peuvent-être mesurés à l'aide de plusieurs types d'essais et d'appareils, dont voici les plus utilisés :

#### **a) Recours au radar géologique :**

Le radar géologique est un moyen complémentaire non destructif permettant de déterminer en lecture continue :

- Les épaisseurs des couches de matériaux constituant le corps de chaussée,
- Les désordres pouvant affecter celles-ci et leur sol support.

Le principe d'utilisation est simple, des impulsions électromagnétiques sont envoyées par le radar, elles se propagent, en s'atténuant, dans la structure auscultée et se réfléchissent partiellement sur les interfaces entre couches du fait du contraste de leurs constantes diélectriques. Calé par quelques carottages, le traitement des échos reçus en retour permet de tracer la coupe de la chaussée selon l'axe d'auscultation.

L'espacement entre axes d'auscultation sera choisi de manière à obtenir la meilleure visualisation de la répartition des anomalies et de la dispersion latérale des épaisseurs de matériaux, un intervalle régulier (5 m par exemple) sera généralement retenu.

Il y a lieu de retenir, avant toute décision d'emploi d'un radar géologique, que :

- Le signal radar traverse très mal ou pas du tout les couches contenant des éléments métalliques (laitier, mâchefer,...),
- La différenciation de deux couches successives traitées au bitume n'est généralement pas possible, sauf discontinuité marquée par l'interface,
- La présence d'eau réduit la profondeur d'investigation mais accroît les contrastes diélectriques entre couches traversées.

### **b) Auscultation par essais de plaque :**

C'est afin de **caler l'utilisation de la méthode inverse de dimensionnement** (qu'on verra plus tard dans le chapitre de dimensionnement) qu'un processus d'**auscultation par essais de plaque** et le matériel nécessaire ont été mis au point par le S.T.B.A, qui en a conservé la mise en œuvre.

Les essais de plaque consistent à appliquer à la chaussée des charges répétées, suivant des cycles programmés, comportant chacun :


- La mise en charge à vitesse constante, en général 2 tonnes/seconde,
- Le maintien de la charge en palier pendant 10 secondes,
- Le déchargement rapide,
- L'observation d'un palier à charge nulle pendant encore 10 secondes.

Les déformations mesurées par différents capteurs sont enregistrées de façon continue pendant les cycles sur support magnétique adapté. Un grand nombre de paramètres peuvent ainsi être stocké, et les résultats sont obtenus après un traitement informatique.

Le choix des charges appliquées, celui des mesures effectuées, de même que l'exploitation des résultats, dépendent de la structure de la chaussée.

### **c) Auscultation par essais au Défectomètre à masse tombante HWD :**

Cet essai a un principe de fonctionnement et des objectifs, sensiblement proches de ceux de l'essai de plaque ;

 **NB :** Pour avoir tous les détails, se référer au **chapitre précédent** (Etude géotechnique pages 18-23).

### **d) Méthode inverse de dimensionnement:**

Par cheminement inverse de celui constituant la **méthode de dimensionnement** adaptée au même type de chaussée, la connaissance des caractéristiques du sol support (portance) et la composition de la structure d'une chaussée existante, permet de déterminer les charges d'atterrisseurs dont l'application est admissible sur une période de dix ans. Cette démarche constitue la base de l'évaluation de la portance d'une chaussée par la méthode inverse de dimensionnement.

Cette méthode se heurte toutefois, lorsqu'elle est utilisée seule, à de grandes difficultés pour apprécier les paramètres structurels à prendre en compte pour caractériser, à un moment donné, une chaussée existante et son sol support.

## **Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques**

---

Même s'il existe des archives concernant à la fois la construction de la chaussée, les éventuels travaux d'entretien ou de renforcement réalisés, et le trafic passé; cette méthode exige que de nombreux sondages et essais soient réalisés, dont les résultats demeureront généralement incertains du fait de la difficulté d'apprécier certains paramètres, (coefficients d'équivalence des couches de chaussée souple, transferts de charge entre dalles de béton,.. etc.), et du risque de manque de représentativité de ces sondages.

### **3. Auscultation de l'état de surface par l'essai APL (UNI) :**

Cet essai a été détaillé dans la campagne géotechnique, se référer au **chapitre III** page 24-26.

### **4. Evaluation de L'Adhérence :**

La recommandation est qu'après toute intervention pouvant modifier des caractéristiques de surface de la piste, un suivi des mesures des coefficients de frottement doit être entrepris par l'essai d'adhérence. Cet essai a été détaillé en **Annexe N° III.4**

### **5. Inspections du réseau d'assainissement et de drainage :**

Résultat de la simplicité de leur conception et de leur bon dimensionnement, l'efficacité de ces ouvrages d'assainissement et de drainage dépend également de **leur suivi** et de leur **entretien** régulier dans le temps. Cette efficacité est de première importance, les conséquences les plus dangereuses causées par la défaillance d'un réseau de drainage étant :

- La saturation du sol de fondation et des couches de chaussée pouvant entraîner la détérioration rapide des surfaces revêtues,
- L'accumulation excessive d'eau de ruissellement pouvant conduire à l'arrêt du trafic aérien.

Un réseau d'assainissement étant parfois étendue et comportant plusieurs ouvrages, ses inspections consistent en :

#### **a) Inspection des ouvrages du réseau d'assainissement :**

Il s'agit ici des collecteurs, caniveaux à grille, fossés, passages sous chaussée, regards,...etc. Une inspection visuelle tous les six mois ou après les événements pluvieux importants est recommandée.

Une campagne de curage tous les cinq ans, et une inspection des canalisations enterrées à l'aide d'une caméra tous les dix ans, constituent une règle complémentaire efficace.

Le curage des fossés est naturellement à prévoir en fonction des résultats de l'inspection visuelle.

### **b) Inspection des bassins étanches et des ouvrages des-sableurs-déshuileurs :**

Une inspection visuelle tous les six mois ou après les événements pluvieux importants est recommandée. Leur curage ou le pompage des boues et l'élimination des éléments flottants sont à prévoir en fonction des résultats de l'inspection visuelle.

### **c) Inspection des bassins d'infiltration :**

Ce type d'ouvrage ne nécessite, a priori, qu'une surveillance permettant de constater qu'il n'y a pas accumulation excessive de boues en fond de bassin. Dans le cas contraire, il convient de procéder à son curage.

### **d) Inspection des ouvrages de drainage des eaux d'infiltration ou de nappe :**

Une visite tous les six mois aux différents exutoires permet de constater le fonctionnement normal du réseau. Cette visite permettra de mettre en évidence les éventuels défauts existants, qu'il conviendra de traiter avec les moyens appropriés.

## **IV. 3. Interventions possibles sur les chaussées aéronautiques :**

Le choix du type d'interventions à réaliser sur les infrastructures aéronautiques, est conditionné par la connaissance de leur état global. Les indicateurs d'état de service de la chaussée sont eux définis par les méthodes d'auscultation, ces dernières et à travers les résultats obtenus, préconisent l'intervention exact qu'il y a lieu de mettre en œuvre.

Ces interventions sont en fonction de la nature, et de la densité des dégradations, et sont les suivantes :

- ❖ **Entretien léger :** Il est soit ;
  - **Préventif :** Garnissage de joints, scellement des fissures (niveau de gravité léger), application d'un produit anti-kérosène sur les aires de stationnement.
  - **Curatif :** Réparation ponctuelle, rabotage de marche entre dalles ou de bosse, scellement de fissures (niveau de gravité « moyen » ou « élevé »).
- ❖ **Gros entretien :**
  - Grosse réparation sur chaussée souple ( $\geq 150 \text{ m}^2$ ) ;
  - Reconstruction de dalles ( $< 5\%$  du nombre de dalles) ; Injection sous dalle.
- ❖ **Travaux d'investissement :** Tels que :

## Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques

- **Rénovation** : Application d'un enduit superficiel ou d'un coulis bitumineux, mises-en œuvre d'une couche de béton bitumineux d'épaisseur inférieure ou égale à 6 cm, thermo-régénération, reprofilage...etc.
- **Réfection** : comporte le renforcement, ou la reconstruction de l'ensemble de la chaussée.

L'organigramme suivant illustre, la prise de décisions d'intervention suivant les méthodes d'auscultations (dans ce cas précis, méthode de l'indice de service) ;

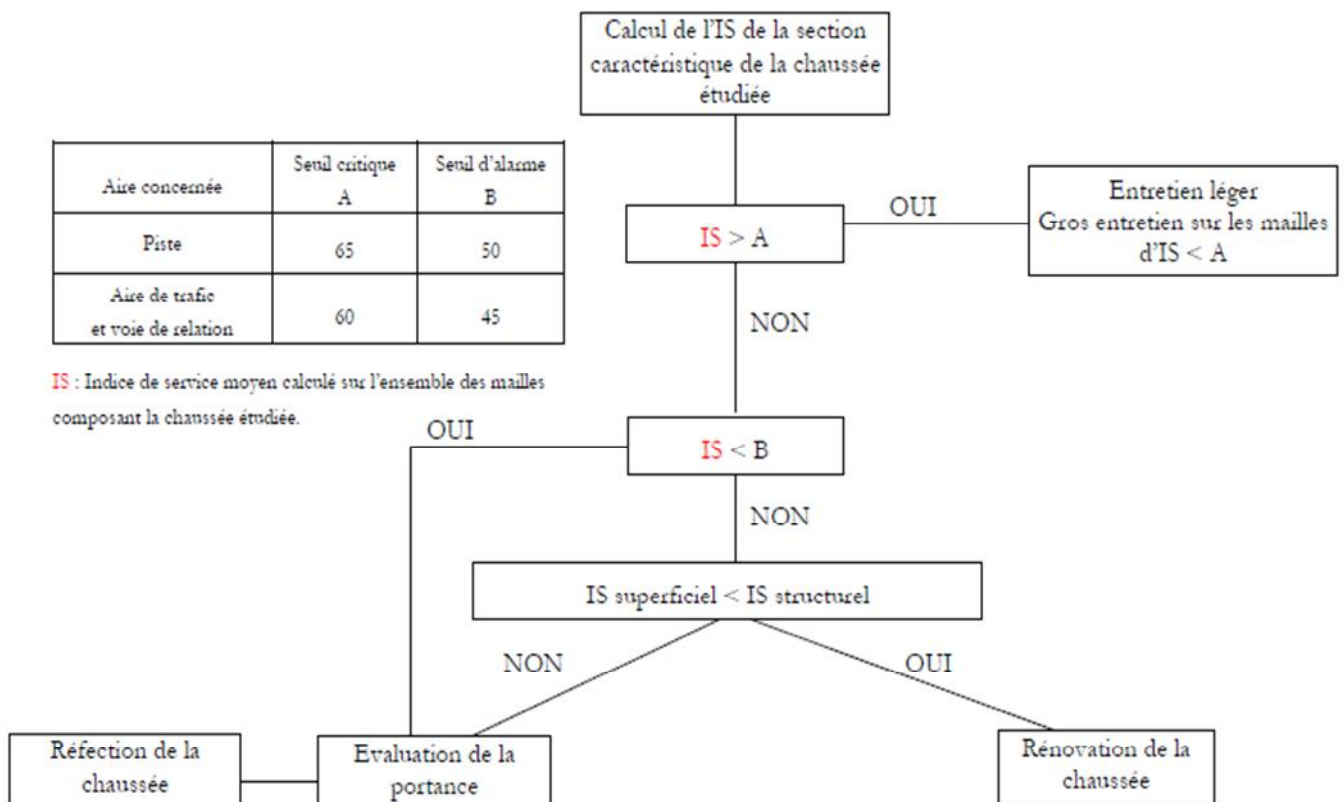


Figure N°IV.1 : Organigramme simplifié du système de gestion d'une chaussée aéronautique.

### IV.4. Synthèse des résultats de l'auscultation de l'aérodrome d'In Salah :

Lors d'une mission effectuée sur le site de l'aérodrome par le Laboratoire des Travaux Publics du Sud, il a été procédé aux relevés visuels détaillés des dégradations, et à une campagne d'essais d'auscultation destructifs et non destructifs, pour estimer toutes les caractéristiques respectivement des aires suivantes :

- Piste d'envol.
- Voies de circulation.
- Parking.

## **Chapitre IV : Dégradations et auscultation des chaussées aéronautiques**

---

Les relevés ont été effectués conformément au catalogue de dégradation de S.T.B.A. Le maillage adopté pour les relevés des dégradations a consisté en la subdivision de la piste par des mailles de **30 m x 20 m**.

Pour chaque maille de relevé, est noté, **le type** de dégradation, **son étendue** (linéaire ou surface) et son **degré de gravité (léger (L), moyen (M) ou élevé (E))** ; Le même procédé de maillage a été respecté pour la voie de circulation et le parking.

Les mailles sont matérialisées sur la chaussée par un marquage en peinture en y inscrivant leur numéro.

Le relevé de dégradations montre que la surface de la piste ainsi que de ses annexes sont affectées par **trois (03) familles** de dégradations distinctes du point de vue nature et origine, et dont les résultats sont les suivants :

- ❖ **Ouverture des tous les joints d'épandage longitudinaux et transversaux** avec un degré de gravité variable du léger au grave. Il est à noter que les fissures ont été colmatées au niveau de la bande centrale et des bandes latérales, par un produit de scellement.
- ❖ **Des fissures de faibles ampleurs** ont été constatées sur le colmatage;
- ❖ **Fissures longitudinales et transversales** : Généralisées au milieu des bandes d'épandage, dont le degré de gravité est variable du léger au grave ;
- ❖ **Gonflement localisé** au niveau des bandes de rives accompagné par des fissures de grandes ampleurs ;
- ❖ **Désenrobage, et brûlures** de la couche bitumineuse ;
- ❖ Le carottage a montré, **des Fissures profondes** (se propagent dans la couche de roulement ainsi que celle de base sur quelques endroits), et **un colmatage superficiel** au niveau des joints ;
- ❖ **L'évaluation de la portance** à l'aide de l'appareil HWD révèle, **des modules relativement faibles pour les couches en matériaux bitumineux, et une faible portance du sol support** ;
- ❖ L'essai d'UNI a montré que, les profils centraux de la piste présentent **un état de planéité moyen**, et les profils latéraux un état variant **du moyen au mauvais** ;
- ❖ Le système de drainage de la piste et de ses alentours, **n'est pas fonctionnel** (constatation faite lors de l'intervention). **Une zone marécageuse** est observée au Nord-Ouest de la piste, et le drainage des eaux sous-terraines (les eaux des nappes phréatiques) **est irrégulier**;

### **IV.5. Conclusions :**

La campagne d'auscultation des infrastructures aéroportuaires, détaillé dans le cadre du présent chapitre, nous a apporté une aide appréciable a la prise des décisions, relatives aux solutions et aux choix du type d'interventions, (Entretien, renforcement, ou réfection totale des aires de l'aérodrome), à mettre en œuvre dans le but de palier aux différents problèmes rencontrés sur ces infrastructures et de sauvegarder la pérennité de ces dernières.

Dans le cas de notre projet, l'ensemble des infrastructures de l'aérodrome d'In Salah, offrent **un niveau de service variant du Passable au Moyen, à court terme** et pour des conditions d'un trafic **relativement faible**, ces dernières **assumerons convenablement leur rôle** pour **une durée de vie estimée à 03 ans** (déterminé grâce au HWD, méthode que nous allons exposer ultérieurement dans ce travail).

Mais on peut conclure aussi que, pour des conditions de trafic **supérieures** et pour offrir un niveau de service dans **les normes** de ce que recommandent les différents règlements, un **renforcement** est toutefois **nécessaire**, et à **prévoir** (étant donné que les caractéristiques structurelles de la chaussée sont atteintes).

# Chapitre V

## Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

### **I. Introduction :**

L'objectif premier des méthodes de dimensionnement des chaussées est de fixer les règles qualitatives et quantitatives permettant à l'ingénieur de choisir et concevoir le profil en travers des structures de chaussée, compte tenu des données du projet (durée de vie, trafic annuel, climat, contraintes de réalisation,... etc.) et de la politique économique des maîtres de l'ouvrage (investissement initial, budget d'entretien/renforcement... etc).

De portée d'abord générale, les développements ci-après vont rapidement bifurquer sur deux types de chaussée auxquels leurs structures, tout à fait différentes, ont conduit à attribuer des modes de fonctionnement correspondant à la fois aux matériaux employés et aux différentes méthodes de calcul disponibles.

### **II. Constitution et comportement des chaussées aéronautiques :**

Les chaussées aéronautiques représentent l'ensemble des aires destinées à la circulation, manœuvre, et au stationnement des aéronefs. Ce sont des structures composites (assemblage de différents matériaux), plus ou moins complexes, conçues pour résister sur l'ensemble de leur durée de vie, aux différentes sollicitations mécaniques et climatiques, qui mettent à rude épreuve les performances initiales des matériaux dont elles sont composées.

On distingue principalement deux (02) types de chaussées (cas des structures semi-rigide ne faisant pas partie de notre travail) :

#### **1. Chaussées souples :**

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

Le dimensionnement de ce type de chaussée est basé sur l'hypothèse, que l'endommagement de la chaussée proviendrait de la rupture du sol support.

La composition, ainsi que le comportement de ce genre de structure sont expliqués dans les paragraphes suivants :

### a. Constitution d'une chaussée souple :

Une chaussée souple est constituée généralement (du haut vers le bas) d'une :

#### ➤ Couche de surface :

Elle comporte généralement une structure bicouche avec :

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

#### ➤ Couche de base :

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

#### ➤ Couche de fondation :

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

#### ➤ Les sous-couches :

Évitent la remontée des eaux de la nappe phréatique (rôle anticapillaire), et empêchent la contamination des couches supérieures par les sols support argileux (Rôle anti-contaminant).

#### ➤ Couche de forme (éventuelle) :

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



Figure N° V.1 : Illustration d'une structure de chaussée souple.

### b. Comportement d'une chaussée souple :

La charge appliquée par une roue d'atterrisseur à la surface d'une chaussée souple, engendre une contrainte qui est transmise dans le corps de chaussée jusqu'au sol support, par l'intermédiaire d'une succession de surfaces réglées dont les génératrices forment, avec les surfaces des couches considérées, des angles «  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  » en fonction des caractéristiques de ces dernières (qualité croissante du bas vers le haut), et qui se resserre au passage de chaque couche à sa suivante.

Lorsque le sol support ne pouvant plus résister aux charges appliquées il y a rupture d'équilibre, ainsi les couches supérieures lâchent à leur tour, il y aura alors poinçonnement du terrain d'assise.

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

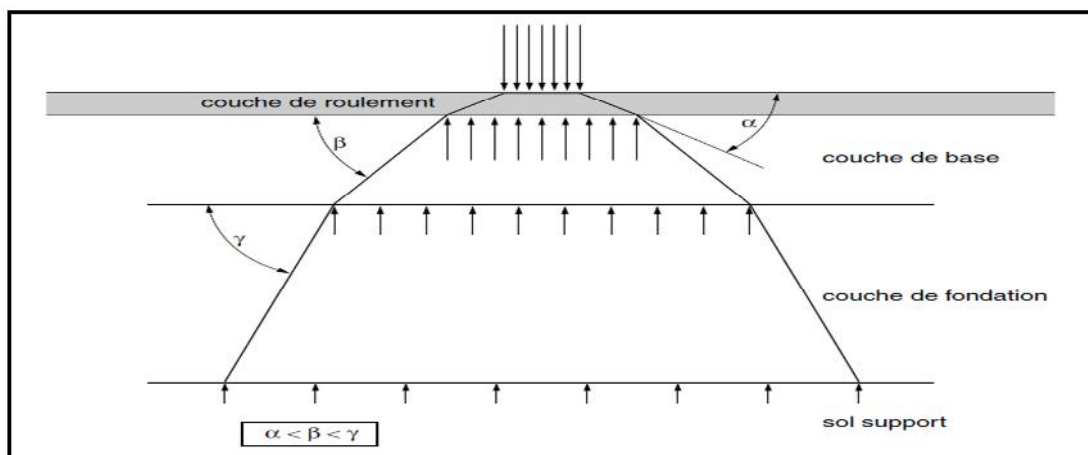


Figure N° V.2 : Illustration du principe de répartition des charges (sur chaussée souple).

### 2. Chaussées rigides :

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

#### a. Constitution d'une chaussée rigide :

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

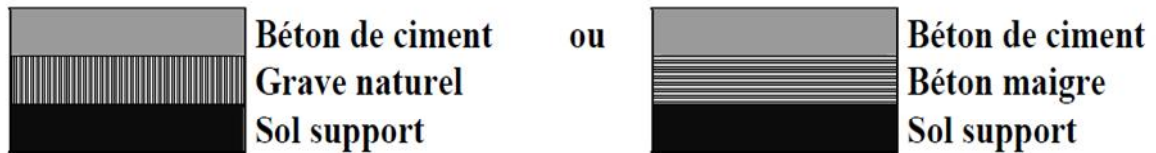


Figure N° V.3 : Illustration d'une structure de chaussée Rigide.

### **b. Comportement d'une chaussée rigide :**

Soumise à la charge d'une roue d'atterrisseur, la dalle en béton absorbe une partie de cette charge en opposant une réaction par déformation élastique. Le reste de cette charge sera réparti sur sa fondation et sur le sol support.

Cette répartition s'effectue sur une large surface, ce qui diminue la contrainte appliquée sur le sol d'assise. On conçoit que les premiers désordres de structure se déclareront, non pas dans le sol support, mais dans la dalle en béton ; lorsque celle-ci perd ces caractéristiques mécaniques par effet de fatigue, elle ne pourra plus résister aux déformations dues aux sollicitations du trafic.

### **c. Types de chaussées rigides :**

Selon la façon dont sont localisées et éventuellement traitées les discontinuités associées aux différents retraits (de prise, et thermique) du béton on distingue :

- Les chaussées à dalles courtes non armées non goudonnées,
- Les chaussées à dalles courtes non armées goudonnées,
- Les chaussées en béton armé continu.

### **d. Joints sur chaussées en béton :**

La réalisation de chaussées en béton de ciment nécessite la confection de joints, afin de permettre une localisation nette des fissures qui sont inhérentes (indissociables) à la nature de ce matériau.

La prévision de leur emplacement et leur dimensionnement relevant d'avantage de règles empiriques que de calculs, leur exécution demeure une opération délicate à laquelle il est toujours nécessaire d'apporter un grand soin et une grande attention.

Trois types de joints sont généralement rencontrés sur les chaussées réalisées en béton de ciment :

- Joints de construction ;
- Joints de retrait-flexion ;
- Joints de dilatation.

### III. Critères de choix d'un type de chaussée :

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

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

En résumé le choix résulte de considérations technico-économiques, et de ce fait nécessite une étude comparative tout en tenant compte des avantages et inconvénients de chacune d'entre elle, ceci est résumé par :

	Avantages	Inconvénients
<b>Chaussée souple</b>	-Réparation et renforcement facile. -Plus économiques.	- Entretien Périodiques. -Mauvaise résistance aux carburants, gaz postcombustion des réacteurs. - Moins bonne visibilité (teinte sombre). -Point faible au niveau des joints.
<b>Chaussée rigide</b>	-Peu d'entretien. -Résiste aux carburants, gaz postcombustion des réacteurs. - Meilleure visibilité (teinte Claire).	-Présence des joints, donc point faible. -Risque de fissurations. -Réparation et renforcement difficile. -Cout de réalisation plus élevé.

Tableau N° V.1 : Avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides.

#### Remarque :

De manière générale, les chaussées souples son recommandées dans le cadre de faibles trafics, exploitants des avions petits à moyens Porteur, tandis que pour les forts trafics exploitants des avions gros porteur les chaussées rigides sont plus indiquées.

### IV. Critères de choix d'un type de renforcement :

Le choix d'un type de renforcement (Souple/Souple ou Souple/Rigide, et inversement) est aussi conditionné par des critères, qui sont les mêmes que ceux énoncés plus haut (critères de choix d'un type de chaussée) ; cela en plus des considérations techniques relatives au **phasage des travaux**, et à la **compatibilité entre les structures** de type souples et celles de types rigide.

Ainsi donc :

- Sur chaussées souples, les renforcements sont pratiquement toujours réalisés avec une structure souple compte tenu des facilités de phasage et d'utilisation après exécution d'une partie des travaux. Le renforcement par une structure rigide est rarement employé.
- Les chaussées rigides sont difficiles à renforcer, les renforcements souples sont préférables aux renforcements rigides. Les cas où cette dernière possibilité peut s'envisager sont très peu fréquents.

✚ **NB :** Dans le cadre de notre travail on a **optés** pour un renforcement avec une chaussée **souple** pour les considérations suivantes :

- Le trafic à recevoir étant relativement faible ;
- Les types d'avions reçus sont des petits à moyens porteur (le plus contraignant étant le Boeing 737-800) ;
- Le phasage des travaux, étant donné que la structure existante est de **type souple** ;
- Conditions locales d'approvisionnement en matériaux (disponibilité des matériaux bitumineux à moindre coût).
- Facilité la possibilité d'un renforcement futur (à la fin de sa durée de vie).

### **V. Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques :**

#### **1. Méthode forfaitaire :**

Le dimensionnement forfaitaire permet de calculer l'épaisseur équivalente d'une chaussée, en utilisant les abaques ou les formules de dimensionnement, en considérant l'application de la charge normale de calcul « P' » obtenue à partir de la charge réelle pondérée « P », qui est liée à « l'Aire » de la chaussée considérée ;

La charge réelle pondérée « P' » est obtenue à partir de la charge réelle « P », qui est en fonction des caractéristiques de l'avion le plus contraignant vis-à-vis de la chaussée.

Les calculs sont réalisés en tenant compte d'une hypothèse de trafic avec un nombre réel de mouvements journaliers (n) donné.

#### **1.1. Choix de la charge réelle de calcul « P » :**

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


### **a) Masse de l'avion :**

Parmi les masses remarquables fournies par les constructeurs d'avions, et dont la connaissance est utile pour le dimensionnement on retrouve :

- La masse maximale pour les évolutions au sol portée au certificat de navigabilité (ou masse maximale au roulage) ;
- La masse maximale au décollage et masse à l'atterrissage portée au certificat de navigabilité ;
- La masse à vide en ordre d'exploitation qui est la masse de l'avion à vide avec ses équipements permanents, un aménagement de cabine et un équipage de référence.

### **b) Les atterrisseurs :**

Un atterrisseur est constitué d'un ensemble de roues montées sur une même jambe, l'ensemble des atterrisseurs d'un avion constitue le train d'atterrissage. Les caractéristiques des atterrisseurs sont récapitulées dans la Figure N°I.4 et dans le tableau en **Annexe N° I.1**.

 **Remarque :** En absence d'indication, il est admis de répartir les 10% de la masse retenu sur l'atterrisseur secondaire et les 90% sur les atterrisseurs principaux.

## **1.2. Charge de calcul pondérée « P' » et coefficients de pondération :**

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

Chaque type d'aire doit être dimensionné séparément pour tenir compte des conditions des différentes sollicitations (charges qu'elle reçoit effectivement), soit par exemple :

- Sur une aire de stationnement, les postes de stationnements sont spécialisés par type d'avion, en particulier pour les gros porteurs ;
- La spécialisation d'une piste peut conduire à l'affectation d'une voie de circulation pour les avions au décollage et d'une autre voie pour les avions à l'atterrissage donc de masse plus faible ;
- Le sens préférentiel d'utilisation d'une piste donne une répartition du trafic variable sur la piste et les voies de circulation y conduisant ;
- Les aires d'entretien et les voies y conduisant reçoivent les avions avec leur masse à vide.

## Chapitre V : Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

Le schéma suivant illustre les coefficients de pondérations selon la fonction des aires, et pour chaque type de configuration de l'aérodrome :

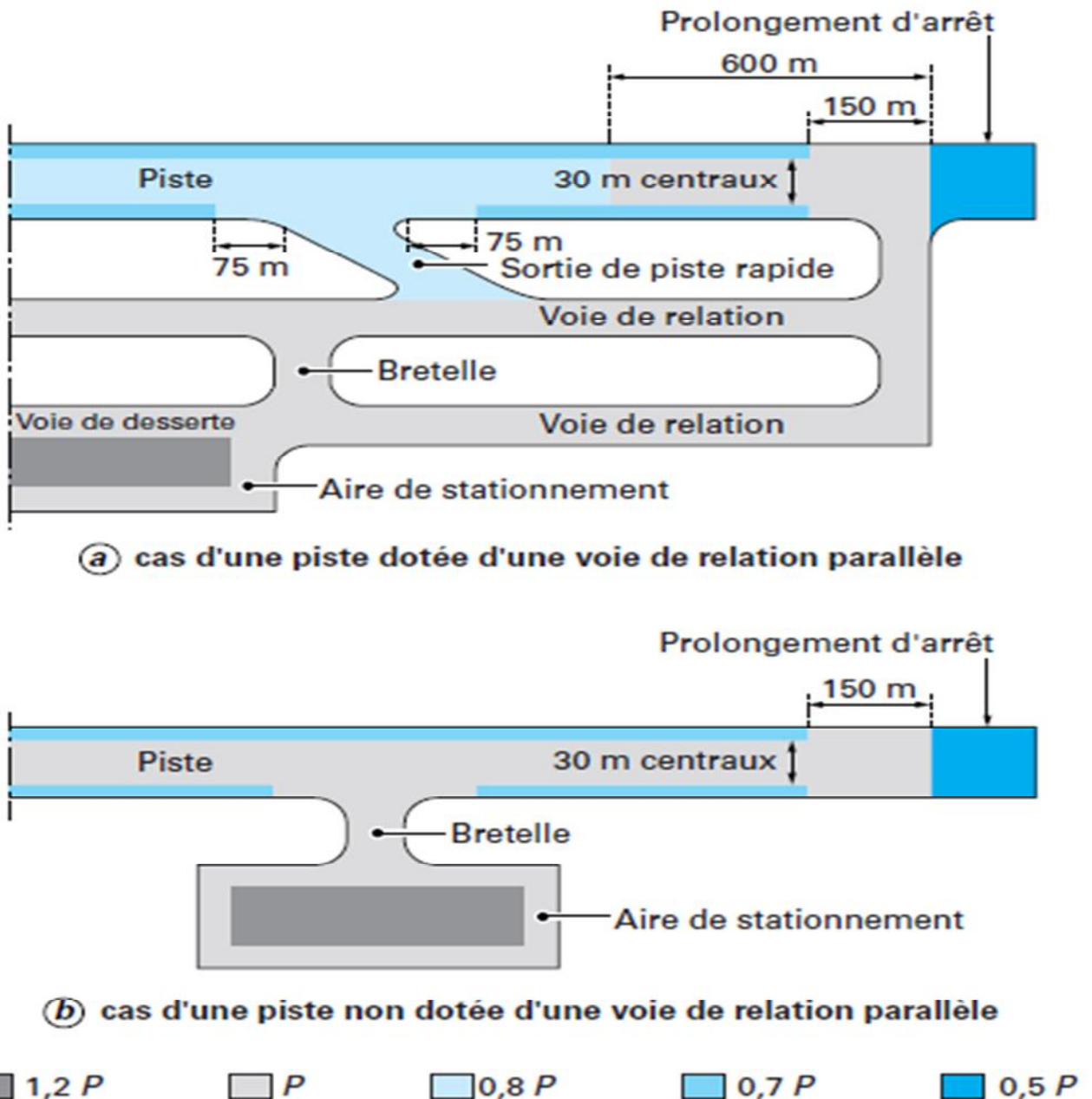


Figure N° V.4 : Pondération de la charge réelle, en fonction des aires d'un aérodrome.

### 1.3. Charge normale de calcul « P'' » :

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

## **Chapitre V : Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques**

Toutefois il peut se faire que ce niveau de trafic soit inférieur au trafic prévisible de l'aérodrome (cas d'un aérodrome très important), ou qu'au contraire il l'excède largement (cas d'un aérodrome à trafic réduit), il est donc nécessaire de tenir compte de l'intensité réelle du trafic escompté.

La correction alors repose sur une relation entre les couples ( $p'$ ,  $n$ ) et ( $p''$ , 10).

$$p = \frac{p'}{CT}$$

Avec :  $CT = 1,2 - 0,2 \log n$  (logarithme décimal)

CT : Coefficient de correction de fréquence du trafic.

$n$  = nombre de mouvement par jour pendant 10 ans.

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

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

**NB :** La relation (logarithmique) n'est valable que pour une durée de vie de 10 ans de la chaussée étudiée.

### **1.4. Calcul de l'épaisseur équivalente ( $E_e$ ) par la formule CBR :**

La formule CBR permet de calculer l'épaisseur équivalente «  $E_e$  » de la chaussée, pour laquelle est admissible la contrainte verticale produite par une charge appliquée 10 000 fois, avec une pression d'une roue isolé «  $q$  » uniformément répartie sur l'aire «  $a$  » d'un cercle. Cette méthode ne réfère pas à la contrainte verticale mais au cisaillement maximal que peut subir le sol (massif homogène constitué par un matériau de référence), qui est une grave concassée non traitée, et bien graduée dont le module d'élasticité  $E = 500$  MPa, reposant sur un sol de CBR donné.

Pour calculer l'épaisseur équivalente de la chaussée étudiée les données suivantes sont nécessaires :

- La charge normale de calcul  $P''$  ;
- Le CBR du sol support pour les chaussées souple ;
- Le module de réaction  $K$  du sol support et la contrainte admissible de traction par flexion du béton pour les chaussées rigides ;
- Les abaques (selon le cas) sont utilisés :
  - soit l'abaque particulier de l'avion étudié ;
  - soit l'abaque de l'atterrisseur type correspondant au cas étudié.

L'épaisseur est donnée par la formule :

$$Ee = \sqrt{P * \left( \frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q} \right)}$$

Avec :

Ee : Epaisseur équivalente en cm ;

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

q : Pression de gonflage en MPa ;

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

### ❖ Correction de pression de gonflage :

Pour les pressions de gonflage des pneumatiques différente de la pression de référence, pour un type d'atterrisseur donné, l'épaisseur équivalente est à multiplier par un coefficient de correction du à la pression des pneumatiques  $\delta$ , tel que :

$$\delta = \left( \frac{\left( \frac{1}{0.57 CBR} - \frac{1}{32 q} \right)^{0.5}}{\frac{1}{0.57 CBR} - \frac{1}{32 q_0}} \right)$$

Avec : q : Pression considérée pour un type d'atterrisseur (ex : Jumelage q = 0,9 MPa).

q<sub>0</sub> : Pression réelle des pneumatiques.

### 1.5. Épaisseur minimale de matériaux traités :

Globalement, une épaisseur suffisante de matériaux traités est nécessaire pour assurer un bon comportement des couches supérieurs de la chaussée, celles-ci sont obtenus en transformant l'épaisseur équivalente totale de la chaussée en épaisseur minimale de matériaux traités en tenant compte du CBR du sol support et en utilisant l'abaque suivant :

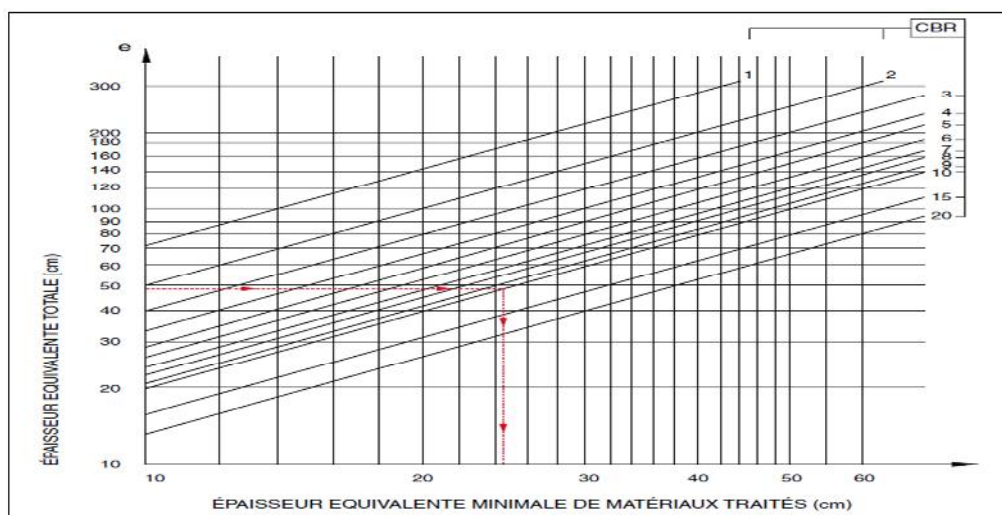


Figure N° V.5 : Abaque « épaisseur équivalente minimale de matériaux traités ».

### 1.6. Calcul des épaisseurs réelles des couches de chaussée :

La notion d'épaisseur équivalente est introduite pour tenir compte des qualités mécaniques des différentes couches. L'épaisseur équivalente «  $e_i$  » d'une couche est égale à son épaisseur réelle, multipliée par un coefficient numérique appelé coefficient d'équivalence «  $C$  ».

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

$$\sum (e_i \cdot c_{ei}) \leq E_e$$

Avec :

$e_i$  : Epaisseur réelle d'une couche de matériau ;

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

Il faut noter qu'il n'y a pas une réponse unique au dimensionnement, plusieurs couples ( $e_i \cdot c_{ei}$ ) pouvant remplir la condition ci-haut, en tenant compte des coefficients d'équivalence.

#### ❖ Notion de coefficient d'équivalence :

Le coefficient d'équivalence d'une couche de module  $E$ , se calcule par :

$$C_e = \sqrt[3]{\frac{E}{500}}$$

$E$  : Module en MPa du matériau dont on veut calculer le coefficient d'équivalence ;

500 MPa : Module du matériau de référence.

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

Matériaux neufs	Coefficients d'équivalence
Béton bitumineux a module élevée.	2,5
Béton bitumineux aéronautique.	2
Enrobé à module élevé.	1,9
Grave- bitume.	1,5
Grave-émulsion.	1,2
Grave traitée aux liants hydrauliques.	1,5
Grave concassée bien graduée.	1
Sable traité aux liants hydrauliques.	1
Sable.	0,5

**Tableau N° V.2 :** Coefficients d'équivalence des matériaux.

### **2. Méthode ACN-PCN :**

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

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

#### **2.1 Définition de l'ACN et PCN :**

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

#### **2.2 Principe général de la méthode :**

La méthode peut se résumer par le principe suivant :

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

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

#### **2.3 Détermination des ACN :**

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

## Chapitre V : Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

L'ACN d'un avion est fonction :

- Des masses (max et min) des avions ;
- Du pourcentage  $V_s$  (%) descendu par l'atterrisseur principal ;
- Du type de structure (souple ou rigide) ;
- De la catégorie du sol support (A, B, C, ou D);
- De la pression des pneumatiques.

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

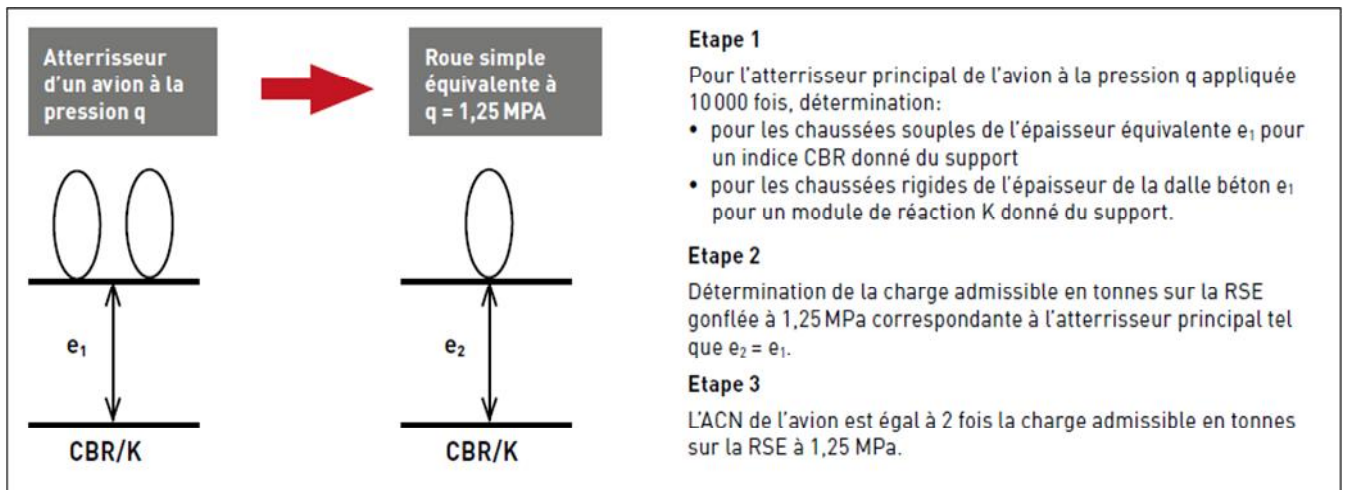


Figure N°V.6 : Processus de calcul de l'ACN d'un aéronef.

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

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

Type d'avion	Masses (kg) maximale minimale	$V_s$ (%)	$q$ (Mpa)	ACN				ACN			
				Chaussée souple				Chaussée rigide			
				A	B	C	D	A	B	C	D
A 300 B2	142 900	46,8	1,24	41	46	54	71	37	45	53	61
	86 300			21	23	26	35	19	22	26	30

Tableau N° V.3 : Exemple de publication des ACN d'un A300-B2.

## Chapitre V : Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

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

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

Tableau N° V.4 : Catégories et codes des sols support.

### 2.4 Détermination des PCN :

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

Type de chaussée	Catégorie du support			Pression pneumatique	Méthode d'évaluation
	Code	CBR (chaussée souple)	K (chaussée rigide)		
[-]	[-]	[%]	[MN/m <sup>2</sup> ]	[MPa]	[-]
R = rigide	A: élevé	> 13	> 120	W: pas de limitation X: $\leq 1.5$ Y: $\leq 1.0$ Z: $\leq 0.5$	U: Expérience  T: Technique
F = flexible	B: moyenne	8 .. 13	60 ... 120		
	C: bas	4..8	25 .... 60		
	D: très bas	< 4	< 25		

Tableau N° V.5 : Codes lettre affétés au PCN.

Ainsi, si la capacité portante d'une chaussée souple ayant été évaluée techniquement est de 62, reposant sur un sol support de classe moyenne et sans limitation de pression des pneumatiques. Alors son PCN doit être reporté de la manière suivante : **PCN 62/F/B/W/T**.

Il existe deux méthodes de détermination du PCN, l'une consiste à une évaluation dite par expérience, et l'autre est technique ; dans notre cas on s'intéressera à cette deuxième méthode.

#### ❖ Évaluation technique du PCN :

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

## Chapitre V : Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

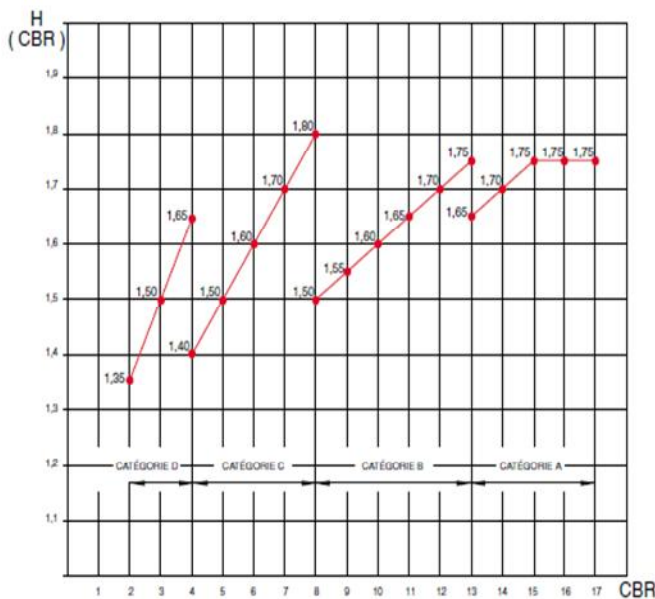
Cette charge est ensuite majorée par un coefficient «  $H_{(CBR)}$  » fonction lui-même de la catégorie du sol support.

$$PCN = H_{(CBR)} \times RSI \quad (\text{chaussée souple}) \dots\dots\dots (1)$$

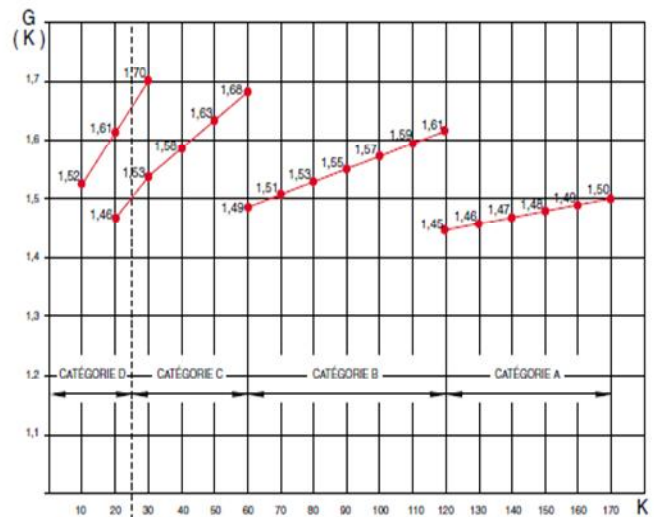
Ou :  $PCN = G_{(K)} \times RSI \quad (\text{chaussée rigide}).$

Avec : RSI = Roue simple isolée.

Avec **H** et **G** déterminés par les abaques suivant :



Abaque 1 Valeurs du coefficient H (CBR) pour le calcul du P.C.N. approché des chaussées souples



Abaque 2 Valeurs du coefficient G (K) pour le calcul du P.C.N. approché des chaussées rigides

**Figure N° V.7 :** Abaques des coefficients de correction du PCN.

A noter que la charge maximale admissible (RSI) peut également (pour les chaussées souples), être obtenue de manière plus précise par application de la réglementation du STBA (guide de l'utilisation de la méthode ACN-PCN 1988) de l'équation (2) suivante :

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

Avec : e : épaisseur équivalente du corps de chaussée ;

Les logarithmes sont décimaux ;

La RSI est en tonnes.

### 2.5 Dimensionnement par la méthode ACN-PCN :

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

Ainsi donc à travers le principe de la méthode ( $ACN \leq PCN$ ) et avec les équations (1) et (2) précédentes on peut déduire que l'épaisseur équivalente d'une chaussée souple peut être déterminée comme suite :

$$\text{Eq} \quad \frac{\left[ 1000 \cdot ACN \cdot \left( 4,231 - 5,013 \cdot \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right) + 2,426 \cdot \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)^2 - 0,473 \cdot \log\left(\frac{CBR}{0,6}\right)^3 \right) \right]^2}{6,12 \cdot H_{CBR}}$$

#### **Remarque :**

- Si la chaussée étudiée est justifiable d'un coefficient de pondération des charges réelles dépendant de la fonction de cette chaussée, le PCN calculé doit être divisé par ce coefficient.
- Compte tenu des incertitudes couramment admises sur les données, l'erreur relative sur le PCN atteint généralement 10% pour les chaussées souples, et 05% pour les chaussées rigides.

### 3. Méthode HWD « Programme ELMOD 6 » :

Cette méthode est basée sur les essais au déflectomètre à masse tombante HWD (Heavy Weight Deflectometer) détaillé dans **le chapitre III (Page18-23)**, et dont les résultats sont analysés et traités avec le programme « ELMOD 6 » (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design).

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

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

## Chapitre V : Méthodes de dimensionnement des chaussées aéronautiques

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

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

- Les déflexions maximales mesurées aux géophones et leur position ;
- La charge maximale, et les épaisseurs des couches du modèle multicouche représentant la chaussée ;
- La loi de comportement élastique linéaire ou non selon le matériau, ainsi qu'une loi de fatigue...etc.

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

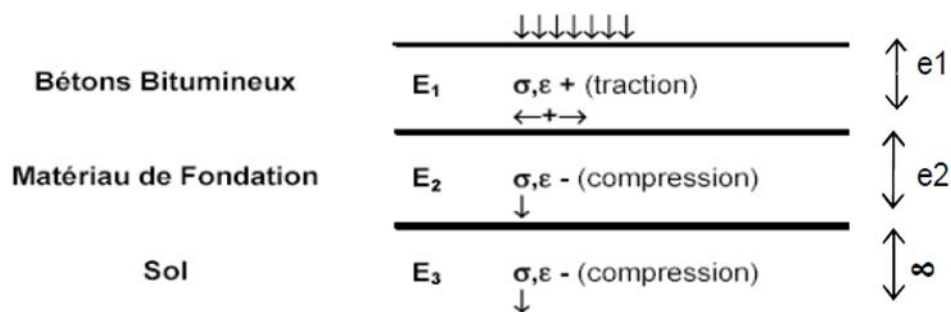


Figure N° V.8 : Modélisation du corps de chaussée sous ELMOD 6.

### NB :

L'utilisation de cette méthode suppose une bonne connaissance des épaisseurs des couches du corps de chaussée, de l'historique de renforcement de l'infrastructure, du trafic prévisionnel, ainsi que des conditions climatiques (températures) lors des essais au HWD.

Compte tenu de l'absence de plusieurs données, tel que celles citées précédemment, et dans l'incapacité de les obtenir, nous n'avons pas pu travailler avec cette méthode et avons simplement exposé les résultats en **Annexe N° V.1**, obtenus par le LTP Sud et qui nous ont été remis.

### **VI. Conclusion :**

A travers les différentes méthodes exposées ci-dessus, et au vue des données et des spécificités relatives à notre projet tels que ;

- Absence des données actuelles, et prévisionnelles relatives au trafic (nombres et fréquences des mouvements journaliers, types d'avions fréquentent l'aérodrome, différents chargements appliqués...etc)
- Évolution sur les chaussées d'un type d'avion nettement plus contraignant qui est dans notre cas le Boeing 737-800.

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

Aussi, pour des soucis de fiabilité et de précision on a jugés utile de faire une vérification par l'intermédiaire de la méthode ACN-PCN.

# Chapitre VI

## Dimensionnement et proposition de variantes

**I. Introduction :**

A travers l'exploitation et l'analyse des différentes données en notre possession, telles que la campagne de reconnaissance géotechnique, la campagne d'auscultation, les relevés des dégradations, ainsi que l'exposition des différentes méthodes de dimensionnement existantes ; on est arrivé à la conclusion qu'un renforcement à moyen terme s'imposait avec comme structure à mettre en place, une chaussée de type souple.

Ainsi, il nous reste maintenant à dimensionner cette structure, ce qui revient à proposer les épaisseurs et le choix des matériaux à mettre en place. Celui-ci est très complexe car il consiste à définir un dimensionnement optimal, en utilisant des matériaux de bonne qualité avec un coût total maîtrisé du projet.

De ce fait, une étude multicritères s'avère donc indispensable pour arriver à un résultat satisfaisant.

**II. Dimensionnement et calcul de l'épaisseur équivalente :**

Ainsi donc comme convenu précédemment nous allons dimensionner avec la méthode forfaitaire, qui s'applique comme suite :

**1. Application de la méthode forfaitaire :**

Le travail consiste à dimensionner les chaussées de l'aérodrome d'In Salah constituées d'une piste (non dotée de voie de circulation parallèle), de 02 bretelles d'accès, et d'une aire de stationnement. L'application de la méthode forfaitaire passe par la formulation des hypothèses de calcul suivantes :

**❖ Prévisions du trafic :**

En l'absence de données précises relatives au trafic, l'hypothèse de **n = 10 mouvements** par jour pour une **durée de vie de 10 ans** pour toutes les aires de l'aérodrome, est rationnelle et suffisante pour un bon dimensionnement de leurs corps de chaussée.

**✚ NB :**

Un mouvement = 1 décollage, 1 atterrissage, ou bien un passage sur l'aire de circulation.

Il est supposé que les mouvements au décollage, et à l'atterrissage se répartissent de manière égale sur les deux seuils de piste (50% - 50%).

❖ **Caractéristiques du sol support :**

Le sol support est constitué d'une argile très plastique, non drainante et dont la portance est faible avec un indice **CBR = 5**.

**a) Calcul de la charge réelle de calcul « P » :**

La charge réelle de calcul « P », est en fonction des caractéristiques de l'avion le plus contraignant, comme indiquée précédemment, ces dernières sont :

Avion	Masse maximale au roulage [Kg]	Pourcentage de la masse sur l'atterrisseur principale [%]	Pression des pneumatiques [Mpa]
B 737-800	79 500	46.77	01.41

**Tableau N° VI.1 :** Caractéristiques du Boeing 737-800 pour le calcul de la charge réelle « P ».

P : Est le pourcentage de la masse maximale au roulage reprise par l'atterrisseur principal.

$$P = \text{Masse max roulage} \times 0.4677 = 79\,500 \times 0.4677 = 37\,182 \text{ Kg ;}$$

D'où la charge réelle de calcul « P » :

$$P = 37.2 \text{ tonnes}$$

**b) Calcul de la charge réelle pondérée « P' » :**

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

**$P' = P \times C_p$**  Tel que :  $C_p$  est le coefficient de pondération tiré de **la Figure N° V.4 chapitre V page 64**.

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

Chaussée	Coefficient de pondération $C_p$	Charge de calcul pondérée P' [Tonne]
<b>PISTE + BRETELLES</b>	1	<b>37.20</b>
<b>ACCOTEMENTS</b>	0.7	<b>26.04</b>
<b>S.W.Y (P.O.R)</b>	0.5	<b>18.60</b>
<b>PARKINGS</b>	1.2	<b>44.64</b>

**Tableau N° VI.2 :** Résultats des charges de calcul pondérées « P' ».

**c) Détermination de la charge normale de calcul « P'' » :**

Compte tenu de l'utilisation de l'hypothèse de trafic  $n = 10$  mouvements par jour pendant 10 ans, qui est le fondement de la méthode forfaitaire de dimensionnement, alors on n'a pas besoin de corriger la charge pondérée  $P'$  pour tenir compte du trafic réel.

Pour  $n=10$ ,  $CT = 1.2 - 0.2 \log 10 = 1$  D'où :  $P'' = P'$ .

Le tableau suivant résume les résultats des charges normale pondérées « P'' » qu'on va utiliser dans le calcul de l'épaisseur équivalente :

Charges	Piste + Bretelles	Accotements	S.W.Y (P.O.R)	Parkings
Masse maximale au roulage [tonne]	79,50	79,50	79,50	79,50
Pourcentage de la charge sur l'atterrisseur principale [%]	46,77	46,77	46,77	46,77
Charge réelle de calcul P [tonne]	37,20	37,20	37,20	37,20
Coefficient de pondération	01	0,7	0,5	1,2
Charge réelle pondérée P' [tonne]	37,20	26,04	18,60	44,64
Coefficient de correction de fréquence CT	01	01	01	01
Charge normale de calcul P'' [tonne]	<b>37,20</b>	<b>26,04</b>	<b>18,60</b>	<b>44,64</b>

**Tableau N°VI.3 :** Résumé des résultats des charges de calculs.

**d) Correction de la pression de gonflage des pneumatiques :**

Pour les pressions de gonflage des pneumatiques différentes de  $q_0 = 0.9$  MPa, l'épaisseur équivalente est à multiplier par un coefficient de correction  $\delta$  tel, que indiqué ci dessous :

$$\delta = \left[ \frac{\left( \frac{1}{0.57 \times 0.5} - \frac{1}{32 \times 1.41} \right)}{\left( \frac{1}{0.57 \times 0.5} - \frac{1}{32 \times 0.9} \right)} \right]^{0.5} \quad \text{D'où : } \delta_{B737-800} = 1.019$$

e) Calcul des épaisseurs équivalentes des corps de chaussées :

Le calcul des épaisseurs équivalentes totales peut se faire, soit à l'aide de l'abaque propre au B737-800 fournie par le STBA (**donné en Annexe N° I.2**), soit par la formule de calcul donnée par la méthode forfaitaire précédemment et qui est corrigé de la manière suivante :

$$Ee = \sqrt{P'' \times \left( \frac{1}{0.57 * CBR} - \frac{1}{32 * q} \right)} \times \delta B737$$

Dans notre cas, on a opté pour le calcul analytique dont les résultats sont exposés dans le tableau suivant :

Chaussée	Charge normale de calcul P'' [Kg]	Épaisseur équivalente totale [cm]
Piste + Bretelles	37 187	113
Accotements	26 028	94
SWY (POR)	18 591	80
Parking	44 619	123

**Tableau N°VI.4 :** Résultats des épaisseurs équivalentes totales.

f) Calcul des épaisseurs équivalentes résiduelles des chaussées existantes :

Les sondages carottés réalisés sur les chaussées de l'aérodrome d'In Salah nous ont permis d'obtenir les épaisseurs résiduelles réelles (**Voir Chapitre II, description de l'aérodrome page 8 et 9**). En utilisant les coefficients d'équivalence des matériaux mis en œuvre, on peut calculer ces dernières.

**NB :**

Compte tenu de l'état de dégradation des infrastructures de notre aérodrome, (notamment la couche de roulement en béton bitumineux), **un fraisage de cette dernière sur une épaisseur e = 05 à 08 cm s'avère nécessaire**. De ce faite, il faudrait en tenir compte dans le calcul des épaisseurs équivalentes résiduelles.

Aussi étant donné qu'aucun sondage n'a été réalisé sur les bretelles (voies de circulations) leur composition sera considérée identique à celle de la piste, c.à.d. (08cm BB+12cm GB+20cm GC+30cm TUF).

❖ Calcul des coefficients d'équivalence :

Les coefficients d'équivalence sont calculés tel que montré dans le **Chapitre V page 67**, les résultats pour les différentes aires de l'aérodrome sont donnés dans le tableau suivant :

Aire considérées	Couches du corps de chaussée	Modules d'élasticité moyens [Mpa]	Coefficients d'équivalence.
<b>Piste+Bretelles</b>	Couche de roulement en BB	<b>4427</b>	<b>02.07</b>
	Couche de base en GB	<b>852</b>	<b>01.19</b>
	Couche de fondation en (GC+TUF)	<b>90</b>	<b>00.56</b>
<b>Accotements + SWY (POR)</b>	Couche de roulement en MBB 0/10	<b>Inconnu</b>	<b>02.00</b>
	Couche de fondation en GC.	<b>Inconnu</b>	<b>01.00</b>
<b>Parking</b>	Couche de roulement en BB	<b>1894</b>	<b>01.59</b>
	Couche de base en GB	<b>640</b>	<b>01.08</b>
	Couche de fondation en (GC+TUF)	<b>67</b>	<b>00.51</b>

**Tableau N° VI.5 : Résultats des coefficients d'équivalence.**

❖ Épaisseurs équivalentes résiduelles après fraisage :

Après fraisage de la couche de roulement sur toutes les aires de l'aérodrome, les résultats sont donnés dans le tableau ci après :

Aire considérée	Couches du corps de chaussée	Épaisseurs réelles résiduelles après fraisage [cm]	Coeff d'équivalence.	Épaisseurs équivalentes résiduelles [cm]	Épaisseurs équivalentes résiduelles Totales [cm]
<b>Piste +Bretelles</b>	Couche BB	00	02.07	00.00	<b>51.80</b>
	Couche GB	20	01.19	23.80	
	Couche (GC+TUF)	50	00.56	28.00	
<b>Accotements + SWY(POR)</b>	Couche MBB 0/10	00	02.00	00.00	<b>50.00</b>
	Couche GC.	50	01.00	50.00	
<b>Parking</b>	Couche BB	00	01.59	00.00	<b>51.42</b>
	Couche GB	24	01.08	25.92	
	Couche (GC+TUF)	50	00.51	25.50	

**Tableau N° VI.6 : Résultats des épaisseurs équivalentes résiduelles totales.**

**g) Calcul des épaisseurs minimales de matériaux traités à mettre en œuvre :**

L'épaisseur minimale recommandée de matériaux traités à mettre en place pour assurer un bon comportement mécanique des chaussées, est déterminé grâce à l'abaque du catalogue de dimensionnement du STBA :

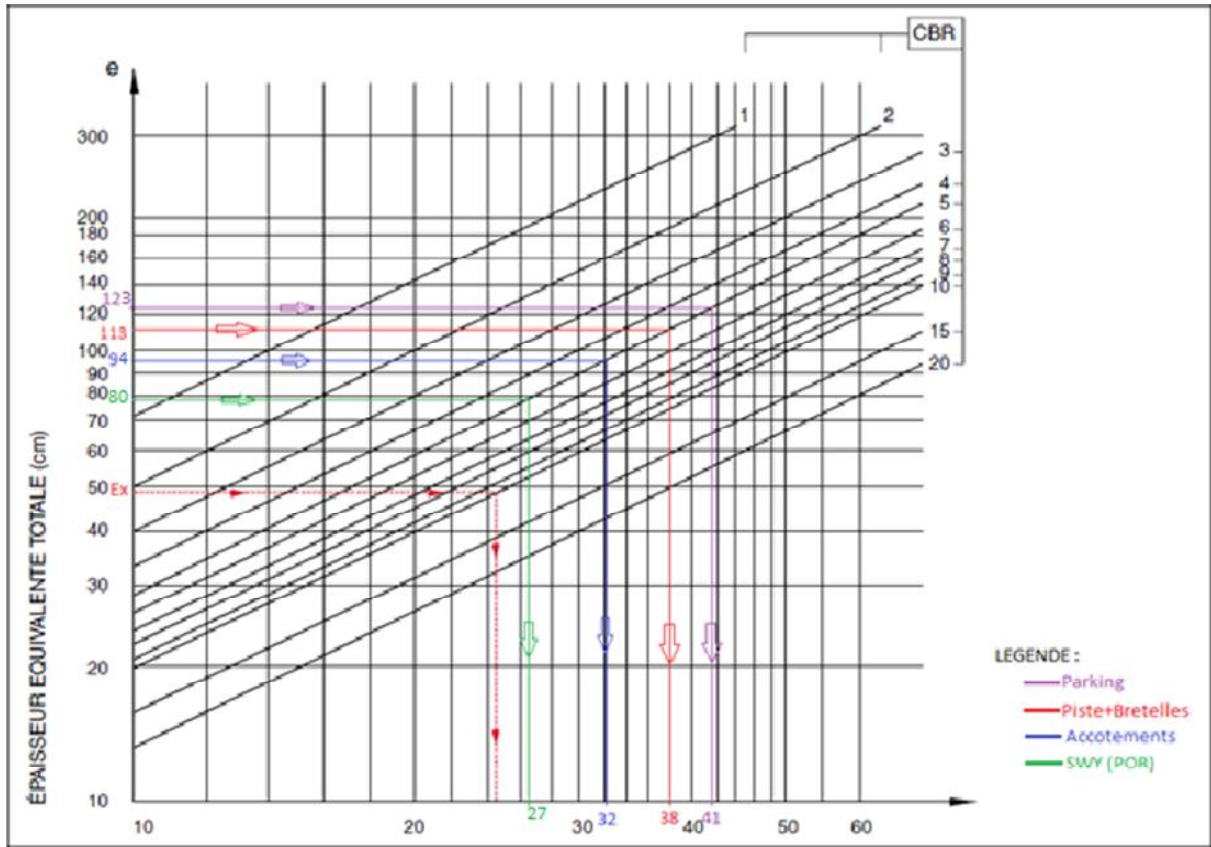


Figure N° VI.1 : Epaisseurs minimales de matériaux traités.

Les résultats sont les suivants :

Aire considérée	Epaisseur équivalente totale [cm]	Epaisseur minimale de matériaux traités [cm]
Piste +Bretelles	113	38
Accotements	94	32
SWY (POR)	80	27
Parking	123	41

Tableau N° VI.7 : Résultats des épaisseurs minimales des matériaux traités.

## 2. Vérification à l'aide de la méthode ACN-PCN :

La vérification se fait à l'aide de la méthode ACN-PCN détaillée dans le **chapitre V page 72**, en utilisant les épaisseurs équivalentes calculées avec la méthode forfaitaire (**Tableau N° VI.4 page 78**), et cela pour un avion de référence de type Boeing 737-800 dont l'ACN et les caractéristiques sont **données en Annexe N° I.2**.

### ❖ Exemple de calcul :

#### ➤ Piste :

Pour une chaussée souple et une catégorie de sol support « classe C » (portance faible) on a :  
ACN = 51

Avec :  $PCN = H_{(CBR)} \times RSI$  ; Du graphe (**Figure N° V.7 page 71**) on a :  $H_{(CBR)} = 1.5$

$$\text{Et : } RSI = \frac{6,12 \cdot (113)^2}{1000 \cdot [4,231 - 5,013 \cdot \log\left(\frac{5}{0,6}\right) + 2,426 \cdot \log\left(\frac{5}{0,6}\right)^2 - 0,473 \cdot \log\left(\frac{5}{0,6}\right)^3]^2} = 46.05 \text{ tonne}$$

D'où :  $PCN = 1.5 \times 46.05 = 69$

On remarque que L'ACN est largement inférieur au PCN ( $51 < 69$ ), donc l'épaisseur équivalente de la piste calculée par la méthode forfaitaire est vérifiée par la méthode ACN-PCN.

Les résultats globaux des calculs, pour toutes les chaussées de l'aérodrome sont représentés dans le tableau suivant :

Aire considérée	Epaisseur équivalente totale [cm]	ACN Pondérés	PCN Calculés	Observations
Piste +Bretelles	113	<b>51.00</b>	<b>69.80</b>	ACN < PCN Condition vérifiée
Accotements	94	<b>35.70</b>	<b>47.80</b>	//
SWY (POR)	80	<b>25.50</b>	<b>34.62</b>	//
Parking	123	<b>61.20</b>	<b>81.85</b>	//

**Tableau N° VI.8 :** Résultats de la vérification par la méthode ACN-PCN.

L'ACN est pondéré par un coefficient en fonction de la chaussée à laquelle il revient (de la même manière et avec les mêmes coefficients que pour le cas de la charge de calcul « P »).

**Remarque :**

On remarque que l'écart entre les résultats des ACN et ceux des PCN sont important, ce qui sous-entend un **surdimensionnement** dans les épaisseurs équivalentes des chaussées calculées par la méthode forfaitaire. Ceci s'explique par le fait, que les hypothèses de trafic entre les deux méthodes sont différentes.

**III. Proposition de variantes :**

Le choix final de la structure de renforcement se fait ;

➤ Premièrement, en fixant les épaisseurs des différentes couches de matériaux à mettre en œuvre, de façon à vérifier la condition suivante comme définie précédemment:

$$\sum (e_i \cdot c_{ei}) \leq Ee$$

Il faut noter qu'il n'y a pas de réponse unique au dimensionnement, plusieurs couples  $(e_i \cdot c_{ei})$  peuvent remplir la condition ci-haut.

➤ Deuxièmement, ce choix doit tenir compte de plusieurs facteurs importants, tels que : l'introduction des nouvelles technologies de renforcement existantes, la qualité des matériaux à mettre en œuvre, le coût total des travaux, les modalités et les délais de réalisation, la durée de vie... etc.

En somme plusieurs variantes devront être proposées, et seront couronnées à la fin par une étude multicritères comparative.

Dans ce qui suit, et en ce qui concerne notre projet on a formulé trois (03) variantes pour le renforcement de notre aéroport qui sont les suivantes :

**1. Variante classique :**

On sous-entend par variante classique, un renforcement avec des matériaux tels que ceux existants (Grave bitumineuse, Béton bitumineux aéronautique...), ces épaisseurs de renforcement représentant le déficit de la structure résiduelle existante par rapport à une structure neuve (différence d'épaisseur entre une structure neuve et la structure existante).

**a) Épaisseurs équivalentes de renforcement :**

Les épaisseurs équivalentes résiduelles et les épaisseurs de renforcement sont données dans le tableau suivant :

Chaussée considérée	Couches du corps de chaussée	Épaisseurs équivalentes résiduelles [cm]	Épaisseurs équivalentes résiduelles Totales [cm]	Épaisseurs équivalentes totales neuves [cm]	Épaisseurs équivalentes de renforcement [cm]
<b>Piste +Bretelles</b>	Couche BB	00.00	51.80	113	<b>61</b>
	Couche GB	23.80			
	Couche (GC+TUF)	28.00			
<b>Accotements</b>	Couche MBB 0/10	00.00	50.00	94	<b>44</b>
	Couche GC	50.00			
<b>SWY(POR)</b>	Couche MBB 0/10	00.00	50.00	80	<b>30</b>
	Couche GC	50.00			
<b>Parking</b>	Couche BB	00.00	51.42	123	<b>71</b>
	Couche GB	25.92			
	Couche (GC+TUF)	25.50			

**Tableau N° VI.9 :** Résultats des épaisseurs équivalentes de renforcements des aires de l'aérodrome.

**b) Épaisseurs réelles de renforcement :**

On propose un renforcement, avec la structure suivante dont les épaisseurs réelles sont données dans le tableau suivant :

Chaussée considérée	Épaisseurs équivalentes de renforcement [cm]	Couches du corps de chaussée	Coefficient d'équivalence des matériaux neufs	Épaisseurs réelles de renforcement [cm]
<b>Piste +Bretelles</b>	<b>61</b>	Couche BB 0/14	02.00	<b>08</b>
		Couche GB	01.50	<b>22</b>
		Couche BB 0/10	02.00	<b>06</b>
<b>Accotements</b>	<b>44</b>	Couche MBB 0/10	02.00	<b>08</b>
		Couche GC	01.00	<b>28</b>
<b>SWY(POR)</b>	<b>30</b>	Couche MBB 0/10	02.00	<b>08</b>
		Couche GC	01.00	<b>14</b>
<b>Parking</b>	<b>71</b>	Couche BB 0/14	02.00	<b>08</b>
		Couche GB	01.50	<b>26</b>
		Couche BB 0/10	02.00	<b>08</b>

**Tableau N° VI.10 :** Résultats des épaisseurs réelles de renforcements des aires de l'aérodrome.

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

Le renforcement par la variante classique et la procédure de mise en œuvre des matériaux sont comme suite :

❖ **Piste 05/23 + Bretelles :**

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8 cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage ou pontage éventuel des fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de reprofilage de 06 cm en béton bitumineux 0/10 ;
- Application d'une autre couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 22 cm en grave bitume 0/20 ;
- Application d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement de 8 cm en béton bitumineux 0/14.



Figure N° VI.2 : Illustration du renforcement de la Piste + Bretelles.

❖ **Accotements :**

- Fraisage de la couche de roulement en Micro-béton bitumineux sur une épaisseur de 05 cm ;
- Nettoyage et soufflage de la surface fraisée ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 28 cm en grave concassée 0/31.5 ;
- Application d'une couche d'imprégnation en cut-back 0/1 ;
- Mise en œuvre d'un revêtement (servent aussi de couche de roulement pour véhicules de service) de 08 cm en Micro-béton bitumineux 0/10.



Figure N° VI.3 : Illustration du renforcement des accotements.

## ❖ SWY (POR) :

- Fraisage de la couche de roulement en Micro-béton bitumineux sur une épaisseur de 05 cm ;
- Nettoyage et soufflage de la surface fraisée ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 14 cm en grave concassée 0/31.5 ;
- Application d'une couche d'imprégnation en cut-back 0/1 ;
- Mise en œuvre d'un revêtement (servent aussi de couche de roulement véhicules de service) de 08 cm en Micro-béton bitumineux 0/10.



Figure N° VI.4 : Illustration du renforcement des SWY (POR).

## ❖ Parking:

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8 cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage ou pontage éventuel des fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de reprofilage de 08 cm en béton bitumineux 0/10 ;
- Application d'une autre couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 26 cm en grave bitume 0/20 ;
- Application d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement de 8 cm en béton bitumineux 0/14.



Figure N° VI.5 : Illustration du renforcement du Parking.

**2. Variante synthétique :**

Afin d'améliorer les qualités mécaniques et d'augmenter la durée de vie des chaussées aéronautiques on peut faire appel à des géo-synthétiques qu'on introduit dans le corps de chaussée.

Les géo-synthétiques sont souvent classifiés et sélectionnés selon les fonctions principales qu'ils doivent remplir dans les multiples ouvrages où ils trouvent application. Selon l'International Geosynthetic Society (IGS), on compte plusieurs fonctions principales pour ces matériaux :

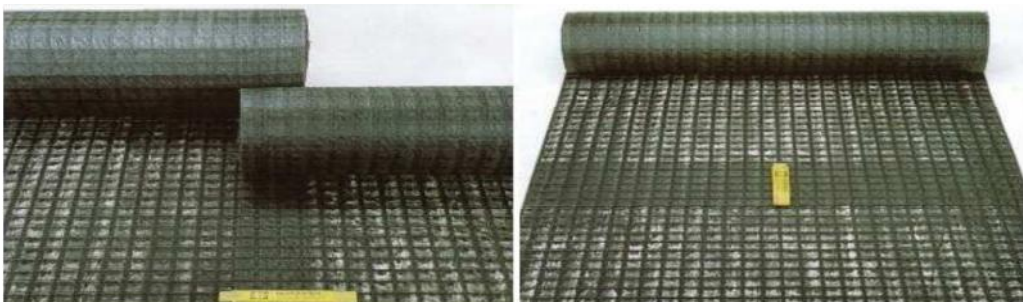
- ❖ Le renforcement (améliore la résistance) ;
- ❖ La séparation (assure l'isolation entre deux matériaux différents) ;
- ❖ La protection (contre diverses agressions) ;
- ❖ La filtration (la remontée des fines) ;
- ❖ Le drainage (évacue les eaux).

Dans le cadre de notre projet et compte tenu de la qualité recherchée (renforcement) on propose pour cette variante d'introduire une « **Géogrille** » dans le corps de chaussée afin d'améliorer sa résistance à la traction, et empêcher la propagation des fissures dans les deux sens (remontée ou descente).

**a) Définition des géogrilles :**

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

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



**Figure N° VI.6:** Illustration d'une nappe de Géogrille.

**b) Rôle des géogrilles:**

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

Elles assurent aussi l'interaction entre les couches de chaussée avec une longueur d'ancrage relativement courte, empêchent les dégradations des couches sous-jacentes, ainsi que la transmission et la remontée des fissures, donc de ce fait les géogrilles permettent de prolonger la durée de vie de la chaussée (jusqu'à 20 ans ex : aéroport de Djinet).

**c) Caractéristiques techniques des géogrilles :**

Les caractéristiques des géogrilles sont :

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

Le tableau suivant représente quelques caractéristiques techniques des géogrilles :

TYPES		20/20	30/30	40/40	60/60
<b>CARACTERISTIQUES DE LA MATIERE</b>					
Poids	gr/m <sup>2</sup>	200	270	330	470
Matière		PP	PP	PP	PP
Mailles	mm	40x40	40x40	40x40	40x40
<b>CARACTERISTIQUES MECANIQUES</b>					
Résistance à la traction chaîne/trame	kN/m	20	30	40	60
Résistance à la traction à 2 % d'allongement chaîne/trame	kN/m	≥ 8	≥ 12	≥ 16	≥ 24
Résistance à la traction à 5 % d'allongement chaîne/trame	kN/m	≥ 18	≥ 24	≥ 32	≥ 45
Allongement à la rupture chaîne/trame	%	≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 8
<b>CONDITIONNEMENT</b>					
Largeur	m	5,20	5,20	5,20	5,20
Longueur	m	200	200	200	200

**Tableau N° VI.11 : Caractéristiques techniques des géogrilles.**

(PP) : polypropylène

**d) Mise en œuvre de la géogridde :**

Les géogriddes sont faciles à mettre en œuvre, car elles peuvent être déroulées et plissées. Elles peuvent être facilement découpées aux dimensions voulues. Les géogriddes avec nœuds rigides une fois déroulé restent sur place et n'ont pas de débords coupants, pouvant entraîner des blessures. L'exécution comprend les phases décrites ci-après :

❖ **Préparation de la surface :**

Traitement des joints, par nettoyage et pressurisation si nécessaire.

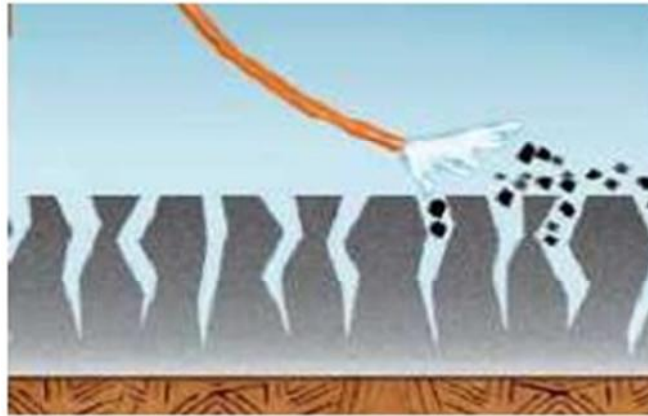


Figure N° VI.7: Préparation de la surface pour la géogridde.

❖ **Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion :**

Dans le cas des géogriddes, l'adhésion est réalisée au moyen d'une couche d'émulsion (dosage minimal :  $1.15 \text{ Kg/m}^2$ ). Cette couche d'émulsion est mise en œuvre avant la géogridde, pour autant que la surface du revêtement soit sèche au moment de la pose.



Figure N° VI.8 : Mise en œuvre de la couche d'accrochage.

✚ **NB :** Si des fissures ou une dégradation localisée sont remarquées sur le sol fraisé, alors un pontage ou un colmatage par un enduit bitumineux adapté de ces dernières est donc nécessaire avant l'application de la couche d'émulsion.

**❖ Pose de l'interface :**

Pour un bon fonctionnement de l'interface et pour éviter des problèmes à la mise en œuvre du recouvrement bitumineux, le produit doit être posé à plat. Les bosses ou plis inévitables lors du déroulement du produit seront dès lors découpés, superposés et fixés au support.

Les recouvrements longitudinaux sont de 25 à 30 cm, et de 15 à 20 cm pour les transversaux, et se font dans le sens de l'asphaltage ; la circulation n'est pas admise sur les géogrilles tant que le recouvrement n'a pas été réalisé. Les véhicules de chantier ne peuvent pas freiner, accélérer ni tourner brusquement, afin d'éviter de déchirer ou d'endommager localement l'interface.



**Figure N° VI.9:** Mise en œuvre des rouleaux de géogrille.

**❖ Mise en œuvre du recouvrement bitumineux :**

La mise en œuvre de la couche bitumineuse s'effectue de manière traditionnelle. Le recouvrement doit avoir une épaisseur d'au moins 4 cm sur les géogrilles.



**Figure N° VI.10 :** Mise en place du recouvrement bitumineux.

e) Dimensionnement de la variante :

Le calcul des épaisseurs de renforcement des matériaux à mettre en œuvre dans cette variante, **se fait de la même manière** que la variante classique (méthode forfaitaire), ainsi on obtient les même épaisseurs de renforcement du fait que les matériaux mis en œuvre (en plus de la géogrille) sont les même que ceux utilisés précédemment avec les même coefficients d'équivalence.

✚ NB :

Etant donné que les sollicitations des aéronefs se font ressentir de manière assez conséquente sur la partie centrale de la piste et celle des voies de relation, le renforcement à l'aide des géogrilles se fera uniquement sur **les 30 m centrale de la piste, et les 20m centrale des voies de relation (bretelles d'accès)**, et cela pour des raisons d'économie.

Ainsi en résumé la différence se fera uniquement pour la piste et les bretelles, Pour les autres aires de l'aérodrome le renforcement reste le même, que celui de la variante précédente.

Ainsi on aura :

❖ **Piste 05/23 + Bretelles :**

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8 cm ;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage ou pontage éventuel des fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de reprofilage de 06 cm en béton bitumineux 0/10 ;
- Application d'une autre couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 22 cm en grave bitume 0/20 ;
- Application d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en place d'une nappe de géogrille en assurent un recouvrement minimale de 20cm;
- Application d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement de 8 cm en béton bitumineux 0/14.



Figure N° VI.11 : Illustration du renforcement de la Piste + Bretelles avec géogrille.

**3. Variante en enrobés à modules élevés :**

Toujours à la recherche de nouveaux matériaux et procédés de travail plus performants offrant au corps de chaussée de bonnes qualités mécaniques et une durée de vie plus longue, on s'est intéressés au renforcement à l'aide des enrobés à modules élevés « E.M.E ».

Ce matériau constitue l'une des techniques bitumineuse moderne, particulièrement performante, pour faire face aux problèmes d'accroissement et d'agressivité du trafic, tout en contribuant au concept du développement durable.

**a) Définition de « EME » :**

Les EME (enrobés à module élevé) sont des enrobés à base de bitume dont la composition a été optimisée pour garantir de bonnes performances structurelles et une durabilité plus importante (jusqu'à 20 ans). Ils se caractérisent par un module de rigidité **E** plus élevé que les enrobés classiques, et par une bonne tenue à l'orniérage et à la fatigue. Ces produits permettent de dimensionner des structures en plus minces, pour ainsi réaliser des économies sur les matériaux et réduire les coûts finals du renforcement, ou de dimensionner avec les mêmes épaisseurs qu'avec des enrobés conventionnels, mais pour une durée de vie beaucoup plus importante.

**b) Rigidité des enrobés :**

Les enrobés présentent une susceptibilité thermique et cinétique : cela signifie que leurs modules évoluent suivant la température et la fréquence de sollicitation. Cette propriété leur provient du bitume caractérisé par la combinaison de ses comportements visqueux et élastiques, la particularité viscoélastique du bitume est conséquemment transmise à l'enrobé. L'approche analytique du module complexe permet d'évaluer la rigidité de l'enrobé en fonction de la température et du temps de chargement (fréquence).

**c) Formulation et caractéristiques des « EME » :**

Les EME se caractérisent par les propriétés suivantes :

- Un squelette granulaire dense et continu de 0-10 mm ou de 0-14 mm ;
- Un grade (une rigidité) de bitume à haute performance à température élevée ;
- Un pourcentage de vides faible ;
- Des performances mécaniques élevées (module > 14 000 MPa à 10°C, 10 Hz).
- Une optimisation des fractions granulaires constituant l'enrobé qui permet d'obtenir un mélange à basse teneur en vides...etc.

Le tableau suivant illustre quelques caractéristiques des « EME » :

	EME classe 1	EME classe 2
<b>Domaine d'emploi</b>	<b>Chussée neuve ou en renforcement</b>	
<b>Epaisseur moyenne d'utilisation</b>	EME 0/10 : 6 à 10 cm EME 0/14 : 7 à 12 cm EME 0/20 : 10 à 15 cm	
<b>Epaisseur minimale d'utilisation</b>	EME 0/10 : 5 cm EME 0/14 : 6 cm EME 0/20 : 8 cm	
<b>Courbe granulométrique type</b>	EME 0/14 : passant à 10 mm : 78 passant à 6,3 mm : 58 passant à 2 mm : 34 passant à 0,08 mm : 8	
<b>Teneur en liant pour <math>\rho_r = 2,65 \text{ g/cm}^3</math> (masse volumique des granulats)</b>	EME 0/14 4,2 %	EME 0/14 5,7 %
<b>Nature du liant</b>	Bitume spécial généralement de grade <u>dur</u>	
<b>Performances en laboratoire</b>		
• essai d'orniérage (60 °C)	≤ 8 % (30 000 cycles)	≤ 8 % (30 000 cycles)
• essai de module complexe (MPa)	≥ 14 000	≥ 14 000
• essai de détermination du module et de la perte de linéarité (MPa)	≥ 16 000	≥ 16 000
• essai de fatigue $\epsilon_6$ à $10^6$ cycles en micro déformation ( $10^{-6}$ )	≥ 100	≥ 130
• pourcentage de vides à obtenir sur planche de vérification ou de référence	≤ 10 %	≤ 6 %

Tableau N° VI.12 : Caractéristiques des Enrobés à module élevé.

Les liants, d'origines commerciales diverses, sont de grades 5/15, 10/20 ou 20/30 ; (04) quatre sont des bitumes purs (notés par la suite B1 à B4), (03) trois sont des bitumes spéciaux (BS1 à BS3) de norme EN 12 597 sur la classification des bitumes, et (01) un est un bitume modifié au copolymère d'Ethylène et de Vinyle Acétate (BM).

Les granulats sont issus du concassage d'une roche massive diurétique, dont la composition granulométrique est présentée dans le tableau ci-dessous :

<b>Tamis (mm)</b>	0,08	0,2	0,5	1	2	4	6,3	8	10
<b>Passant (%)</b>	8,9	12	17	24	35	50	64	79	97

Tableau N° VI.13 : Granulométrie des « EME ».

d) Coefficients d'équivalence des « EME » :

Matériaux	Coefficient d'équivalence	Type de couche
BBME (classe 1, NF P 98.141)	2,5	Roulement
EME (classe 2, NF P 98.140)	1,9	Base

Tableau N° VI.14 : Coefficients d'équivalence des « EME »

BBME : Béton bitumineux à module élevé.

EME: Enrobés à module élevé.

e) Dimensionnement du renforcement :

Dans ce qui suit nous allons toujours utiliser la méthode forfaitaire pour le calcul des épaisseurs réelles de renforcement en « EME » en suivant le même cheminement que la variante classique.

La différence réside uniquement dans les coefficients d'équivalence des matériaux, qui vont être changé par ceux des « EME ».

**NB :** Les épaisseurs **équivalentes** de renforcement ne vont pas changer, étant donné qu'on a rien changé pouvant avoir de lien avec ces dernières. L'introduction des « EME » n'a d'effet que sur les **épaisseurs réelles** de renforcement.

f) Epaisseurs réelles de renforcement :

On propose un renforcement, avec la structure suivante dont les épaisseurs réelles sont données dans le tableau suivant :

Chaussée considérée	Epaisseurs équivalentes de renforcement [cm]	Couches du corps de chaussée	Coefficient d'équivalence des matériaux neufs	Epaisseurs réelles de renforcement [cm]
Piste +Bretelles	61	Couche BBME Classe 1	02.50	08
		Couche EME Classe 2	01.90	22
Accotements	44	Couche MBBME	02.50	08
		Couche GC	01.00	24
SWY(POR)	30	Couche MBBME	02.50	08
		Couche GC	01.00	10
Parking	71	Couche BBME Classe 1	02.50	08
		Couche EME Classe 2	01.90	27

Tableau N° VI.15 : Résultats des épaisseurs réelles de renforcements en « EME » des aires de l'aérodrome.

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

Le renforcement par les « EME » et la procédure de mise en œuvre des matériaux sont comme suite :

❖ **Piste 05/23 + Bretelles :**

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8 cm;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage ou pontage éventuel des fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche d'enrobés à module élevé classe 2 de 22 cm;
- Application d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux à module élevé de 8 cm.

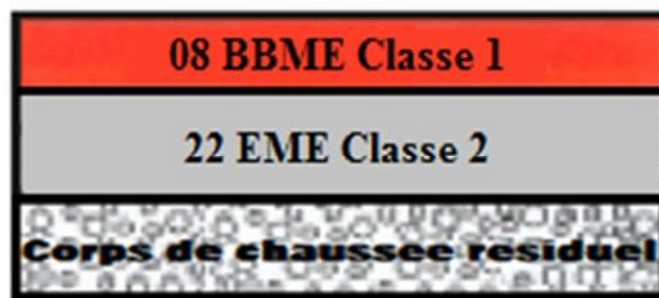


Figure N° VI.12 : Illustration du renforcement de la Piste + Bretelles avec « EME ».

❖ **Accotements :**

- Fraisage de la couche de roulement en Micro-béton bitumineux sur une épaisseur de 05 cm;
- Nettoyage et soufflage de la surface fraisée ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 24 cm en grave concassée 0/31.5 ;
- Application d'une couche d'imprégnation en cut-back 0/1 ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en Micro-béton bitumineux à module élevé de 8 cm.



Figure N° VI.13 : Illustration du renforcement des accotements avec « EME ».

❖ **SWY (POR) :**

- Fraisage de la couche de roulement en Micro-béton bitumineux sur une épaisseur de 05 cm;
- Nettoyage et soufflage de la surface fraisée ;
- Mise en œuvre d'une couche de base de 10 cm en grave concassée 0/31.5 ;
- Application d'une couche d'imprégnation en cut-back 0/1 ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en Micro-béton bitumineux à module élevé de 8 cm.

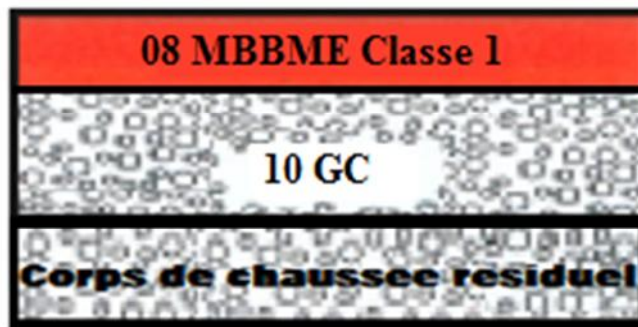


Figure N° VI.14 : Illustration du renforcement des SWY (POR) avec « EME ».

❖ **Parking:**

- Fraisage de la couche de roulement en béton bitumineux sur une épaisseur de 8 cm;
- Nettoyage de la surface de la grave bitume et colmatage ou pontage éventuel des fissures, ce qui permettra de retarder leur transmission dans le nouveau revêtement ;
- Mise en œuvre de la couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche d'enrobés à module élevé classe 2 de 27 cm;
- Application d'une couche d'accrochage en émulsion cationique ;
- Mise en œuvre d'une couche de roulement en béton bitumineux à module élevé de 8 cm.

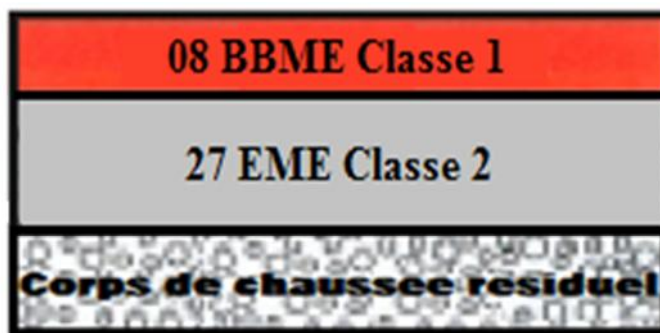


Figure N° VI.15 : Illustration du renforcement du Parking avec « EME ».

#### IV. Evaluation financière des différentes variantes :

L'évaluation financière des trois variantes se fera sur la base des travaux à réaliser conformément au métré (se référer au **chapitre VII pages 114-117**), dont on a tirés les quantités des matériaux à mettre en œuvre (selon le dimensionnement de l'aire considérée).

Cette évaluation est faite en se basent sur une estimation des prix unitaire, des prestations à fournir dans le cadre de notre travail.

##### 1. Variante classique :

<u>N</u>	Désignation des Travaux	Unité	Quantités	Prix unitaires DA	Montant DA
<u>01</u>	Fraisage de la couche de béton bitumineux	M <sup>3</sup>	17.056	3 000 ,00	51.168.000,00
<u>02</u>	Nettoyage et Colmatage des fissures	ML	21.200	250,00	5.300.000,00
<u>05</u>	Fourniture et mise en œuvre de grave bitume 0/20	TONNE	90.224	5 700,00	514.276.800,00
<u>06</u>	Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux 0/14	TONNE	33.537	6 700,00	224.697.900,00
<u>07</u>	Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux 0/10	TONNE	26.463	6 700,00	177.302.100,00
<u>08</u>	Fourniture et mise en œuvre de micro béton bitumineux 0/10	TONNE	11.837	6 700,00	79.307.900,00
<u>09</u>	Fourniture et mise en œuvre de grave concassé	M <sup>3</sup>	16.002	2 800,00	44.805.600,00
<u>10</u>	Fourniture et mise en œuvre de couche en émulsion cationique	TONNE	610,84	95 000,00	58.029.800,00
<u>11</u>	Fourniture et mise en œuvre de couche en cut-back 0/1	TONNE	55,50	75 000,00	4.162.500,00
<u>12</u>	Travaux de Peinture	M <sup>2</sup>	8.463,80	500,00	4.231.900,00
<b>TOTAL EN HT</b>					<b>1.163.282.500,00</b>
<b>TVA 17%</b>					<b>197.758.025,00</b>
<b>TOTAL TTC</b>					<b>1.361.040.525,00</b>

**Tableau N° VI.16 :** Estimation financière de la variante classique.

**Arrêté le présent devis à la somme de :** Un milliard trois cent soixante-un millions cent quarante mille cinq-cents vingt-cinq dinars et zéro centimes.

**2. Variante synthétique :**

L'évaluation financière de cette variante sera la même avec celle de la variante classique la différence réside lors de l'introduction de la nappe de géogrille, qu'il faut prendre en considération et aussi les couches d'émulsion cationiques nécessaires à sa mise en œuvre.

❖ **Devis estimatif relatif au géogrilles :**

Matériau	Unité	Prix unitaire [DA]	Quantité	Montant DA
Géogrille	M <sup>2</sup>	800.00	11 8574,40	94.859.520,00
Fourniture et mise œuvre de 01 couche en émulsion cationique	Tonne	95 000,00	136,36	12.954.253,20
<b>MONTANT EN HT</b>				<b>107813773,20</b>
<b>TVA = 17%</b>				<b>18328341,44</b>
<b>MONTANT EN TTC</b>				<b>126.142.114,60</b>

**Tableau N° VI.17 :** Prix total de fourniture et pose de géogrille.

❖ **Prix totale de la variante**

Prix géogrilles + 01 couche en émulsion cationique [HT]	Prix de la variante classique [HT]	Prix total en HT DA	TVA 17% DA	Montant TTC
107813773,20	1.163.282.500,00	1.271.096.273,00	216.086.366,40	1.487.182.640,00

**Tableau N° VI.18 :** Estimation financière de la variante Synthétique.

**Arrêté le présent devis à la somme de :** Un milliard quatre cent quatre vingt sept millions cent quatre-vingt-deux mille six cent quarante dinars et zéro centimes.

**3. Variante en enrobés à module élevé :**

Pour le cas de cette variante les épaisseurs de renforcement sont différentes de celles de la variante classique, de ce faite, le métré aussi va changer ainsi que l'évaluation financière, les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

❖ **Devis estimatif:**

<b><u>N</u></b>	<b>Désignation des Travaux</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire DA</b>	<b>Montant DA</b>
<b><u>01</u></b>	Fraisage de béton bitumineux	M <sup>3</sup>	17 056,00	3 000 ,00	51.168.000,00
<b><u>02</u></b>	Nettoyage et Colmatage des fissures	ML	21 200,00	250,00	5.300.000,00
<b><u>05</u></b>	Fourniture et mise en œuvre d'enrobé a module élevé 0/20	TONNE	39 424,73	7 500,00	295.685.475,00
<b><u>06</u></b>	Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux a module élevé 0/14	TONNE	37 030,90	8 000,00	296.247.200,00
<b><u>07</u></b>	Fourniture et mise en Œuvre de micro biton bitumineux M.E 0/10	TONNE	13 069,80	6 700,00	87.567.660,00
<b><u>08</u></b>	Fourniture et mise en Œuvre de Grave Concassée 0/31.5	M <sup>3</sup>	13 536,00	2 800,00	37.900.800,00
<b><u>09</u></b>	Fourniture et mise en œuvre de couche en émulsion cationique	TONNE	401,75	95 000,00	38.166.250,00
<b><u>10</u></b>	Fourniture et mise en œuvre de couche en cut-back 0/1	TONNE	55,50	75 000,00	4.162.500,00
<b><u>11</u></b>	Travaux Peinture	M <sup>2</sup>	8.463,80	500,00	4.231.900,00
				<b>TOTALE EN HT</b>	<b>854.540.505,00</b>
				<b>TVA 17%</b>	<b>145.271.885,50</b>
				<b>TOTATE EN TTC</b>	<b>999.812.390,90</b>

**Tableau N° VI.19 :** Estimation financière de la variante en « EME ».

**Arrêté le présent devis à la somme de :** Neuf cent quatre vint-dix-neuf millions huit cent-douze mille trois cent quarante-vingt-dix dinars et quarante-vingt-dix centimes.

### V. Analyse multicritères :

Pour le choix final de la variante à mettre en œuvre, et pouvoir ainsi passer à la phase APD (Avant Projet Détaillé) de la variante retenue, une étude comparative et une analyse multicritères sont nécessaires pour nous aider dans ce choix (vue sa complexité).

Les critères d'évaluation pour chaque variante sont les suivants :

#### 1. Estimation financière :

L'étude financière a été réalisée précédemment, les résultats finals sont résumés dans le tableau suivant :

VARIANTES	VARIANTE CLASSIQUE	VARIANTE SYNTHETIQUE	VARIANTE EN « EME »
<b>PRIX GLOBAL EN TTC [DA]</b>	1.361.040.525,00	1.487.182.640,00	999.812.390,90

**Tableau N° VI.20 :** Estimation financière des différentes variantes.

Il en ressort de cette étude financière, que la variante en **enrobés à module élevé** est nettement plus économique par rapport aux autres variantes.

#### 2. durée de vie :

La durée de vie de la structure à mettre en place est fonction de plusieurs paramètres (selon la variante) tels que : les qualités des matériaux mis en œuvre, le dimensionnement du corps de chaussée et son comportement vis-à-vis des conditions climatiques...etc. Il en résulte d'après tout ce qu'on a vu précédemment que les différentes variantes présentent les durées de vie moyennes suivantes :

VARIANTES	VARIANTE CLASSIQUE	VARIANTE SYNTHETIQUE	VARIANTE EN « EME »
<b>Durée de vie moyenne</b>	10 ans	15 ans	15 à 20 ans

**Tableau N° VI.21 :** Durée de vie de différentes variantes proposées.

On remarque à travers le tableau précédent que les variantes utilisant les nouvelles technologies de matériaux de construction, présentent des durées de vie supérieures par rapport aux matériaux bitumineux conventionnels, avec tout de même un avantage pour les enrobés à module élevé (dont la durée de vie peut atteindre 20 ans).

**3. Délais de réalisation :**

En se basant sur les différents renforcements réalisés par plusieurs procédés sur d'autres aérodromes (Adrar, Annaba, Tamanrasset...etc), le retour d'expérience nous donne les délais d'exécution suivants :

VARIANTES	VARIANTE CLASSIQUE	VARIANTE SYNTHETIQUE	VARIANTE EN « EME »
<b>Délais d'exécution</b>	08 mois	09 mois	06 mois

**Tableau N° VI.22 :** Délais d'exécution des différentes variantes proposées.

Du fait d'avoir (-) moins de quantités à mettre en œuvre (uniquement deux couches), la variante en « EME » donne des délais satisfaisants.

**4. Avantages et inconvénients :**

VARIANTES	VARIANTE CLASSIQUE	VARIANTE SYNTHETIQUE	VARIANTE EN « EME »
<b>AVANTAGES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insonorisant.</li> <li>- Mise en œuvre rapide et simple.</li> <li>- Entretien et renforcement facile.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retarde la remontée des fissures.</li> <li>- Résistance mécanique importante (traction, flexion).</li> <li>- Durée de vie importante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Résistance au gradient thermique (-60° et 250°C).</li> <li>- Résistance mécanique élevée.</li> <li>- Durée de vie importante.</li> <li>- Fondation réduite.</li> <li>- Technique Anti-ornières.</li> </ul>
<b>INCONVENIENTS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien onéreux.</li> <li>- Mauvaise résistance au carburant et au souffle des réacteurs.</li> <li>- Fondations très importantes.</li> <li>- Mauvaise visibilité (couleur noire).</li> <li>- Présence de joints de liaison.</li> <li>- Capacité portante statique faible.</li> <li>- Résistance très faible au gradient thermique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien onéreux.</li> <li>- Nécessité d'un suivi de comportement.</li> <li>- Manque d'expérience sur l'utilisation de ce matériau.</li> <li>- Fondations assez importantes.</li> <li>- Mauvaise visibilité (couleur noire).</li> <li>- Présence de joints de construction.</li> <li>- Plusieurs cycles de pose.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien onéreux.</li> <li>- Mauvaise résistance au carburant.</li> <li>- Conditions de mise en œuvre difficiles.</li> <li>- Mauvaise visibilité.</li> <li>- présence de joints de construction.</li> <li>- Manque d'expérience sur l'utilisation de ce matériau.</li> </ul>

**Tableau N° VI.23 :** Avantages et Inconvénients des différentes variantes proposées.

**VI. Choix de la variante appropriée :**

L'analyse multicritères réalisée précédemment, peut être résumée de la manière suivante :

<b>Critères</b> \ <b>Variante</b>	<b>VARIANTE CLASSIQUE</b>	<b>VARIANTE SYNTHETIQUE</b>	<b>VARIANTE EN « EME »</b>
<b>Evaluation financière</b>	-	-	+
<b>Durée de vie</b>	-	+	+
<b>Délais d'exécution</b>	+	-	+
<b>Avantages et inconvénients</b>	-	+	+

**Tableau N° VI.24 :** Résumé de l'analyse multicritères.

(+) : Favorable.

(-) : Défavorable.

A travers l'analyse multicritère faite précédemment, il en ressort que le choix le mieux adaptée pour le renforcement de notre aérodrome est « Un renforcement à l'aide d'enrobés à module élevé ».

Cette variante présente un équilibre intéressant du point de vue technico-économique, avec une durée de vie très importante et des délais de réalisation assez court.

**VII. Conclusion :**

Après avoir dimensionné le corps de chaussée des différentes aires de l'aérodrome d'In Salah, notre choix de renforcement s'est porté vers la variante en « Enrobes à module élevé ».

Le travail réalisé dans les chapitres précédent, reste tout de même une étude en APS, de ce fait, dans ce qui va suivre notre objectif sera de réaliser une étude en APD de la variante qu'on à choisie.

# Chapitre VII

Etude détaillée de  
la variante retenu

**I. Introduction :**

Après dimensionnement du renforcement des aires de notre aérodrome, en proposent une variante optimale pour la réalisation de ce dernier, la prochaine étape dans notre étude est de détailler au mieux cette variante. Pour ce faire, une étude géométrique pour les nouvelles chaussées est obligatoire pour assurer les principales recommandations préconisées par l'OACI dans ce sens, mais aussi définir les matériaux à mettre en place, ainsi que le métré des travaux et l'estimation financière finale.

**II. Etude géométrique :**

Une fois définition du corps de chaussée, pour les différentes aires de l'aérodrome d'In Salah, le choix des caractéristiques géométriques à donner à celui-ci est une étape très importante, qui requiert le respect des normes exigées par l'OACI pour permettre aux aéronefs d'effectuer les différentes manœuvres en toute sécurité. Les pentes longitudinales et transversales ainsi que les rayons de raccordement des différentes courbes, devront être choisis conformément aux normes recommandées par l'OACI qui sont les suivantes :

**1. Normes géométriques préconisées pour la Piste 05/23 :****a) Profil en long (PEL) :**

Le profil longitudinal d'une piste d'envol doit être aussi plat et droit que possible notamment sur le premier et dernier quart de piste (ou la pente max préconisée est de 0,8%). Il doit satisfaire les normes préconisées par l'OACI en termes de pentes, de changement de pentes, de rayons de raccordement et de distance de visibilité qui sont les suivantes :

**❖ Pentes longitudinales du PEL :**

La pente moyenne longitudinale, est obtenue en divisant, par la longueur de la piste, la différence entre les altitudes maximale et minimale mesurées sur l'axe de la piste ne doit pas dépasser la valeur 1 % dans le cas de notre aérodrome.

$$P_{\text{moy}} = (\text{Altitude max} - \text{altitude min}) / \text{longueur de la piste} < 1\% \text{ (Code chiffre 4).}$$

Par ailleurs, aucune portion du profil en long de la piste ne doit présenter une pente longitudinale dépassant dans notre cas la valeur de 1,25%.

$$P_{\text{max}} = 1,25 \% \text{ (Code chiffre 4).}$$

❖ Changements de pente longitudinale :

Les ondulations et les changements de pente marqués et rapprochés le long d'une piste sont à éviter. Lorsqu'il ne peut être évité, un changement de pente longitudinale ne doit pas excéder, entre deux pentes successives, dans notre cas, la valeur de 1,5%.

$$P'_{\max} = 1,5 \% \text{ (Code chiffre 4).}$$

❖ Rayons des courbes de raccordement :

Le passage d'une pente à une autre doit être réalisé par des courbes de raccordement dont les rayons de courbure doivent être supérieurs à 30 000 m (dans notre cas).

$$R_{\min} = 30\ 000 \text{ m (code chiffre 4).}$$

❖ Distance entre deux changements de pente :

Mesurée comme indiqué et schématisé ci-après, la distance entre deux changements de pente successifs ne doit pas être inférieure à la plus grande des valeurs suivantes :

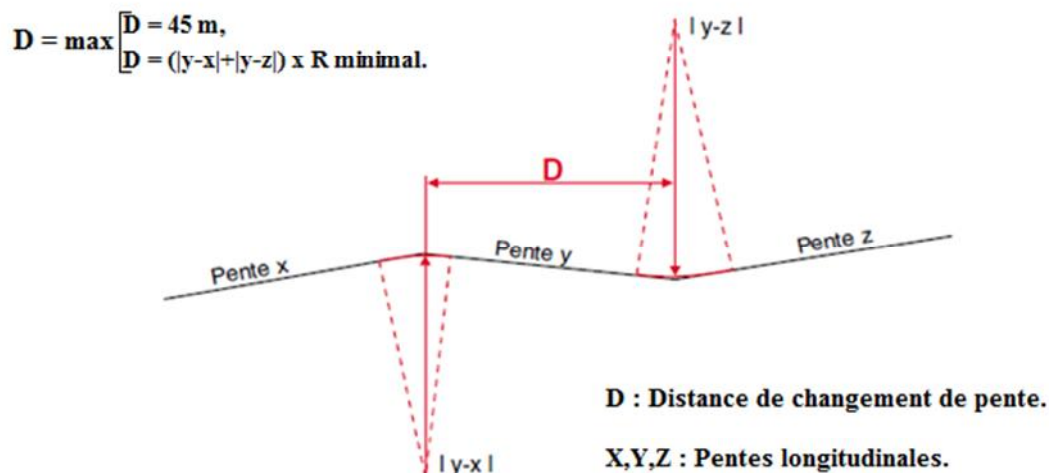


Figure N° VII.1 : Distance de changement de pente.

❖ Distance de visibilité :

Il est recommandé que, lorsqu'ils sont inévitables, les changements de pente longitudinale assurent que la distance de visibilité soit préservée dans les conditions ci-après : Lorsque la lettre de code de l'aérodrome est C, D, E et F, tout point situé à **3 m** au-dessus d'une piste soit visible de tout autre point situé également à **3 m** au-dessus de la piste jusqu'à une distance au moins égale à la moitié de la longueur de la piste.

$$[D \geq L/2]$$

**b) Profil en travers (PET) :**

Le profil en travers est une coupe transversale sur un plan vertical perpendiculaire à l'axe de la piste. Il est généralement constitué par une chaussée, deux accotements, deux bandes de terrain, et deux talus (soit en remblai ou en déblai).

Les pentes transversales, données au profil en travers résultent d'un compromis entre deux exigences contradictoires. Si en effet une piste doit être aussi plate que possible afin de faciliter la circulation des avions et diminuer la fatigue de leurs trains d'atterrissage, elle doit par contre présenter des pentes suffisantes pour assurer l'évacuation des eaux de pluie, dans le double but d'éviter les phénomènes de glissement, (hydroplanage) et de limiter l'infiltration des eaux dans le corps de chaussée.

**❖ Pente du Profil en travers « PET »:**

L'OACI préconise ce qui suit : « Pour assurer un assèchement aussi rapide que possible, il est recommandé que la surface de la piste soit, si possible, bombée, sauf dans le cas où les vents de pluie les plus fréquents souffleraient transversalement et où une pente uniforme descendante dans le sens du vent permettrait un assèchement rapide. L'idéal serait que la pente transversale soit de : **1,5 % lorsque la lettre de code de la piste est C, D, E ou F**; sauf aux intersections des pistes ou des voies de circulation, auxquelles des pentes moins prononcées peuvent être nécessaires ».

**2. Normes géométriques préconisées pour les Bretelles (voies de circulation):****❖ Pentes longitudinales des voies de circulation :**

Il est recommandé que la pente longitudinale d'une voie de circulation n'excède pas les valeurs suivantes :

- 1,5 % lorsque la lettre de code est C, D, E ou F (Dans notre cas code C) ;
- 3 % lorsque la lettre de code est A ou B.

**❖ Pentes transversales des voies de circulation :**

Il est recommandé que les pentes transversales d'une voie de circulation soient suffisantes pour éviter l'accumulation des eaux sur la chaussée, mais n'excèdent pas :

- 1,5 % lorsque la lettre de code est C, D, E ou F;
- 2 % lorsque la lettre de code est A ou B.

**❖ Changement de pente longitudinale des voies de circulation :**

Lorsqu'il est impossible d'éviter les changements de pente d'une voie de circulation, il est recommandé de réaliser le passage d'une pente à une autre par des surfaces curvilignes le long desquelles la pente ne varie pas de plus de :

- 1 % par 30 m (rayon de courbure minimal de 3 000 m) lorsque la lettre de code est C, D, E ou F;
- 1 % par 25 m (rayon de courbure minimal de 2 500 m) lorsque la lettre de code est A ou B.

**❖ Distance de visibilité des voies de circulation :**

Il est recommandé que, lorsqu'un changement de pente sur une voie de circulation est inévitable, ce changement de pente soit tel que, de tout point situé à :

- 3 m au-dessus de la voie de circulation, il soit possible de voir toute la surface de la voie de circulation sur une distance d'au moins 300 m, lorsque la lettre de code est C, D, E ou F;

**3. Normes préconisées pour les accotements :**

Il est recommandé qu'au raccordement d'un accotement et de la piste, la surface de l'accotement soit de niveau avec la surface de la piste et que **la pente transversale de l'accotement ne dépasse pas 2,5 %**.

**4. Normes préconisées pour les Bandes (Piste et Bretelles) :**

Il est recommandé qu'une pente longitudinale, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, ne dépasse pas :

- 1,5 % lorsque le chiffre de code est 4;
- 1,75 % lorsque le chiffre de code est 3;
- 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

Il est recommandé que, sur la partie d'une bande devant être nivelée, les pentes transversales soient suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau sur la surface mais ne dépassent pas :

- 2,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ou 4;
- 3 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2;

Toutefois, pour faciliter l'écoulement des eaux, la pente sur les trois premiers mètres à l'extérieur du bord de la piste, des accotements ou du prolongement d'arrêt devrait être négative, lorsqu'elle est mesurée en s'écartant de la piste, et peut atteindre 5 %.

**5. Normes préconisées pour les S.W.Y :**

Il est recommandé que les pentes longitudinales d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne dépassent pas une **valeur négative de 5 %**.

Il est recommandé que les changements de pente soient aussi progressifs que cela est pratiquement possible et qu'il n'y ait ni changements brusques ni inversions soudaines.

Il est recommandé que les pentes transversales d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne dépassent pas une valeur **positive ou négative de 5 %**.

Il est recommandé que les changements de pente soient aussi progressifs que cela est pratiquement possible.

**6. Normes préconisées pour les aires de trafic (Parking) :**

Il est recommandé que, sur une aire de trafic, et notamment sur une voie d'accès de poste de stationnement d'aéronef, les pentes d'une aire de trafic soient suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau à la surface de l'aire mais que l'aire reste aussi voisine de l'horizontale que le permettent les conditions d'écoulement des eaux.

Il est recommandé que la pente maximale d'un poste de stationnement d'aéronef **n'excède pas 1 %**.

**7. Application des recommandations sur notre projet :**

Pour les différents tracés géométriques relatifs à la piste, au voies de relation et au parking ; on a opté pour le **logiciel Autocad Civil 3D** qui est plus innovant, par rapport au logiciel **Piste 5.05**, et offre des fonctionnalités très développées, et une multitude de palettes, permettent une meilleure maîtrise du projet et un gain de temps conséquent.

La démarche suivie est la suivante :

- Importation du levé topographique de la piste existante ;
- Tracé de l'axe en plan du projet et délimitation des surfaces aéroportuaires ;
- Tracé de l'axe du profil en long en respectant les normes préconisées par L'OACI ;
- Définition du profil en travers type ;
- Tabulations et extraction des différentes données fournies par le logiciel relatifs au projet 3D (côtes, les altitudes, les rayons de courbures, pentes...etc.)

**❖ Profils géométriques de la Piste 05/23 :****▪ Profil en long : (Voir résultats dans Tableau N° VII.1 Page 108)**

-Pente longitudinale moy =  $[272,44 - 267,44] / 3200 = 0,156\% < 1\% \rightarrow$  **Condition vérifiée.**

-Pente longitudinale maximale = **0,68 % < 1,25 %**  $\rightarrow$  **Condition vérifiée.**

-Changement de pente longitudinale maximale = **0,44 % < 1,5 %**  $\rightarrow$  **Condition vérifiée.**

-Rayon de courbure minimal = **56 916.012 m > 30 000 m**  $\rightarrow$  **Condition vérifiée.**

-Distance de changement de pente longitudinale (Tableau N°VII.1)  $\rightarrow$  **Condition vérifiée.**

-Distance de visibilité : En suivant le rapport extrait du logiciel Civil 3D relatif à la vérification de la distance de visibilité, on peut conclure que la distance  $D = 1500$  m (distance de référence pour notre aéroport) est vérifiée sur toute la longueur de la piste (**Voir Rapport CIVIL 3D Annexe N° VII.1**)  $\rightarrow$  **Condition vérifiée.**

**▪ Profil en travers :**

En respectant les différentes normes préconisées par L'OACI et après définition du corps de chaussée de la piste, le profil en travers type choisi pour toute la longueur est le suivant :

Profil en toit avec une pente de 1 % pour la chaussée, 1.5 % pour les accotements et de 2.5 % pour les bandes de piste.

**(Voir la Figure N° VII.2 page 109)**

N°éléments du PEL	Abscisse du PIV	Longueur des éléments du profil en long	Altitude du PIV	Pente d'entrée	Pente de sortie	A (changement de pente)	Distance de changement de pente longitudinal	Type de courbe de la ligne du PEL	Valeur K	Type de sous-entité	Longueur de la courbe de la ligne de profil en long	Rayon de la courbe
1	0+000.00m	/	272.445m	/	-0.64%	/	78.00 m	/	/	/	/	/
2	0+124.56m	124.56m	271.653m	-0.64%	-0.68%	0.05%		Point haut	2995.029	Parabole symétrique	144.616m	299502.872m
3	0+339.72m	215.16m	270.179m	-0.68%	-0.46%	0.23%		Point bas	828.279	Parabole symétrique	186.828m	82827.934m
4	0+589.72m	250.00m	269.031m	-0.46%	-0.01%	0.44%	18.00 m	Point bas	569.160	Parabole symétrique	252.882m	56916.012m
5	0+876.92m	287.20m	268.988m	-0.01%	-0.06%	0.05%		Point haut	1324.481	Parabole symétrique	61.873m	132448.108m
6	1+166.92m	290.00m	268.809m	-0.06%	-0.05%	0.02%		Point bas	9757.290	Parabole symétrique	150.000m	975729.020m
7	1+616.92m	450.00m	268.601m	-0.05%	-0.08%	0.03%	21.00 m	Point haut	5208.154	Parabole symétrique	150.000m	520815.399m
8	2+136.92m	520.00m	268.210m	-0.08%	-0.06%	0.02%		Point bas	8277.609	Parabole symétrique	150.000m	827760.872m
9	2+471.92m	335.00m	268.019m	-0.06%	-0.11%	0.05%		Point haut	2857.119	Parabole symétrique	150.000m	285711.900m
10	2+960.62m	488.70m	267.484m	-0.11%	-0.00%	0.11%	48.00 m	Point bas	1384.436	Parabole symétrique	150.000m	138443.641m
11	3+127.50m	166.88m	267.483m	-0.00%	-0.05%	0.05%		Point haut	2512.649	Parabole symétrique	117.393m	251264.924m
12	3+200.00m	72.50m	267.448m	-0.05%	/	/		/	/	/	/	/
		Longueur du profil en long=3200m	$\Delta Z=4.99$ m	Pl moy = 0.156 % Pl max = 0.68 %	Changement de pente max=0.44%							Rayon de courbure min=56916.012m

Tableau N° VII.1 : Caractéristiques des différents éléments du profil en long de la Piste 05/23 (extraites du logiciel Autocad Civil 3D).

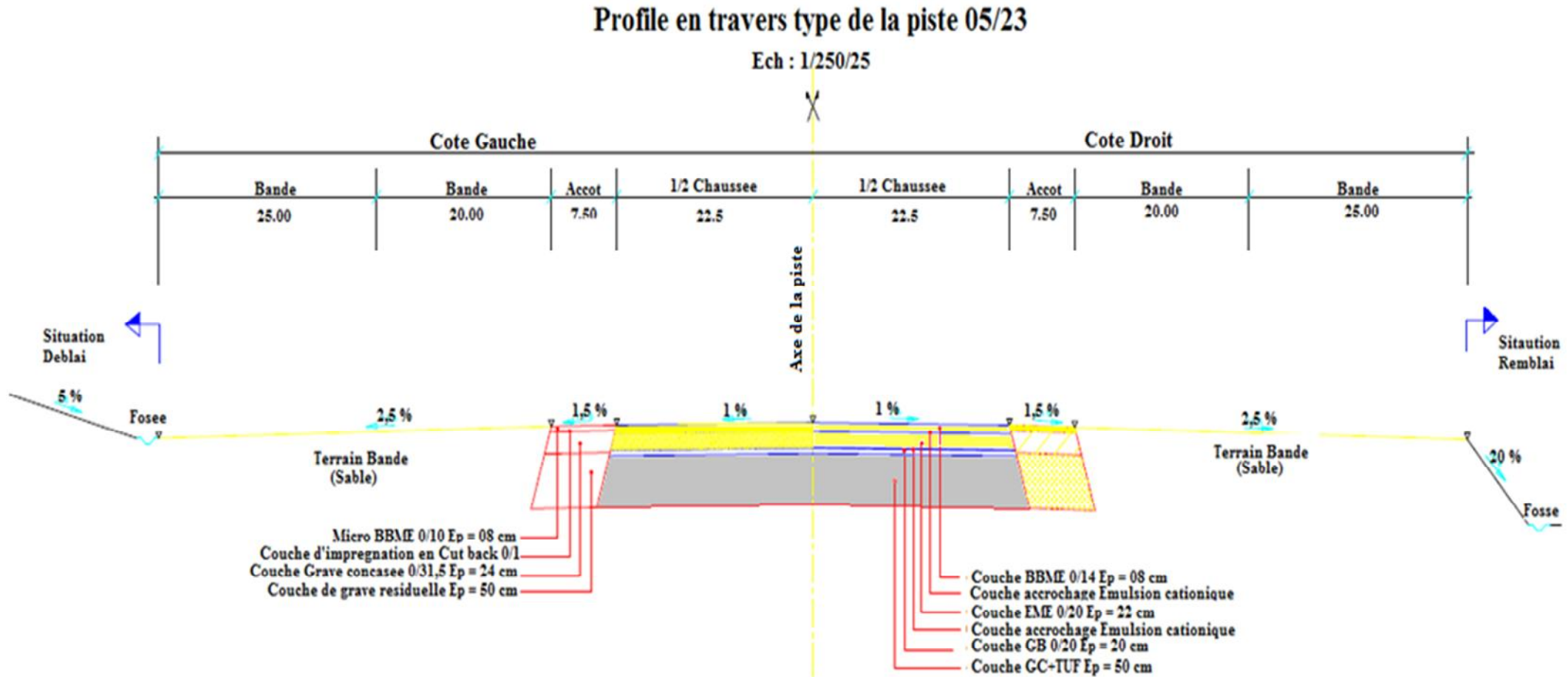


Figure N° VII.2 : Profil en travers type pour la Piste 05/23.

**❖ Profils géométriques des Bretelles d'accès:****▪ Profil en long : (Voir résultats dans Tableau N° VII.2 Page 111)**

-Pente longitudinale maximale = **0,34 %** < 1,5 % → **Condition vérifiée.**

-Changement de pente longitudinale maximale = **0,47 %** < 1 % → **Condition vérifiée.**

-Rayon de courbure minimal = **6709.424 m** > 3000 m → **Condition vérifiée.**

-Distance de changement de pente longitudinale (**Tableau N° VII.2**) → **Condition vérifiée.**

-Distance de visibilité : En se référant au levé topographique de la surface où est implanter notre voie de circulation, on peut conclure que la distance de visibilité  $D = 300$  m (distance référence pour notre aéroport) est vérifiée sur toute la surface de la voie de circulation.

→ **Condition vérifiée.**

**▪ Profil en travers :**

En respectant les différentes normes préconisées par L'OACI et après définition du corps de chaussée des bretelles, le profil en travers type choisi est le suivant : Profil en toit avec une pente de **1.5 %** pour la chaussée, **2 %** pour les accotements et de **2.5 %** pour les bandes des voies de circulation.

**(Voir la Figure N° VII.3 page 112)**

**❖ Profil géométrique du Parking :**

La nouvelle chaussée du parking de l'aéroport d'In Salah présente un profil en long droit de pente nul. L'évacuation des éventuelles eaux de pluies est assurée par un profil en travers en forme de toit à un seul versant présentant une pente maximale de **1 %**.

**(Voir la Figure N° VII.4 page 113)**

N° élément du PEL	Abscisse du PIV	Longueur des éléments du PEL	Altitude du PIV	Pente d'entrée	Pente de sortie	A (changement de pente)	Distance de changement de pente long	Type de courbe de la ligne du PEL	Valeur K	Type de sous-entité	Longueur de la courbe de la ligne de profil en long	Rayon de la courbe
1	0+000.00m	/	268.001m	/	-0.34%	/	08.40m	/	/	/	/	/
2	0+079.94m	79.94m	267.731m	-0.34%	0.13%	0.47%		Point bas	67.094	Parabole symétrique	31.292m	6709.424m
3	0+210.21m	130.27m	267.899m	0.13%	0.20%	0.07%		Point bas	970.804	Parabole symétrique	72.502m	97080.446m
4	0+398.18m	187.97m	268.282m	0.20%	/	/	/	/	/	/	/	/
		Longueur du PEL = 398.18m	$\Delta Z = 0.55m$	Pl max = 0.34 %		Changement de pente max=0.47%						Rayon de courbure min = 6709.424m

Tableau N° VII.2 : Caractéristiques des différents éléments du profil en long des bretelles d'accès (extraites du logiciel Autocad Civil 3D).

Profil en travers des Bretelles

Ech : 1/250/25

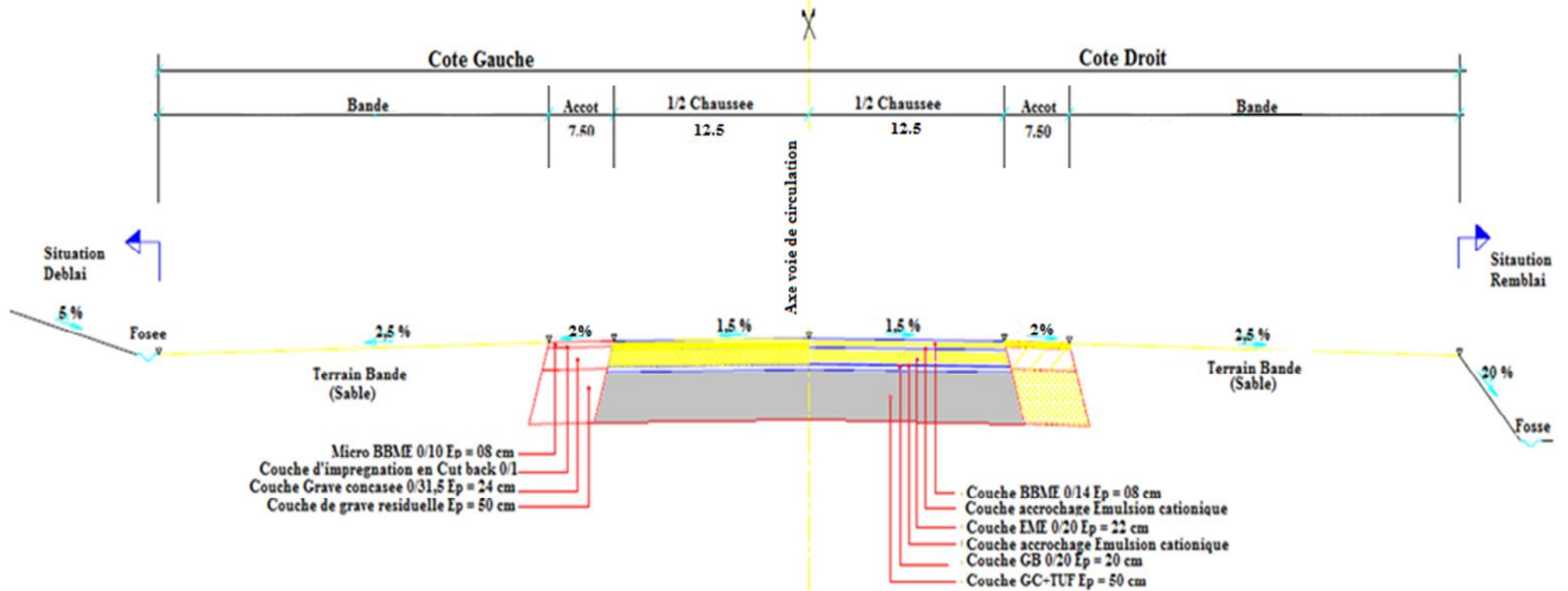


Figure N° VII.3: Profil en travers type pour les Bretelles.

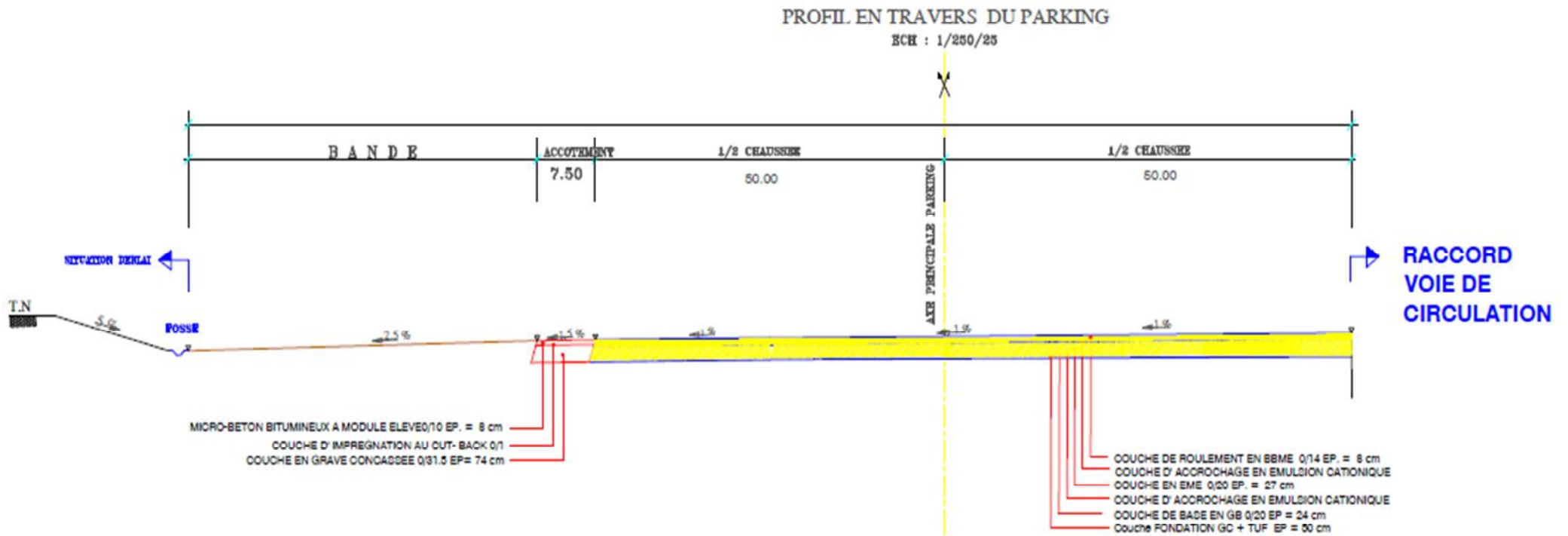


Figure N° VII.4 : Profil en travers type Parking.

### III. Métre des travaux :

Le métre est un calcul quantitatif des valeurs servant de base à l'estimation ou au règlement des travaux. Il est établi en tenant compte des unités de référence données au bordereau des prix : longueur, surface, volume, poids.

Dans notre cas le métre consistera à évaluer successivement d'une façon approximative les quantités de travaux nécessaires au renforcement des aires de l'aérodrome.

#### 1. Calcul des surfaces :

A l'aide du logiciel Auto CAD et suivant les plans de masse des aires de l'aérodrome on a déterminés les surfaces et les volumes (soit à scarifier ou à mettre en œuvre) qui sont les suivants :

##### ➤ Piste principale 05/23 :

$$3000*45 \text{ -----} = 135.000 \text{ m}^2$$

##### ➤ Les Raquettes de manœuvres à l'extrémité de piste :

$$02 \text{ raquettes} \text{-----} = 5.846,5\text{m}^2$$

##### ➤ Voies de circulations :

$$02 \text{ Bretelles} \text{-----} = 13.825 \text{ m}^2$$

##### ➤ Les accotements :

$$\text{Sur les S.W.Y} \text{-----} = 3.900\text{m}^2$$

$$\text{Sur la piste d'envol} \text{-----} = 48.750\text{m}^2$$

##### ➤ Partie occasionnelle rouable :

$$02 \text{ S.W.Y} (100*45*2) \text{-----} = 9.000\text{m}^2$$

##### ➤ Aires de trafic :

$$\text{Parking} \text{-----} = 20.000\text{m}^2$$

$$\text{D'où les surfaces totales} = 236.321,00 \text{ m}^2$$

#### 2. Phasage des travaux :

##### a) Scarification des chaussées existantes :

##### ➤ Piste principale 05/23 :

Scarification sur 08 cm de la couche de roulement en béton bitumineux 0/14.

$$V = 135.000 \text{ m}^2 * 0.08 \text{ m} = 10.800 \text{ m}^3$$

➤ **Les Raquettes de manœuvres à l'extrémité de piste :**

Scarification sur 08 cm de la couche de roulement en béton bitumineux 0/14.

$$V = 5.846,5 \text{ m}^2 * 0.08 \text{ m} = 467,72 \text{ m}^3$$

➤ **Voies de circulations :**

Scarification sur 08 cm de la couche de roulement en béton bitumineux 0/14.

$$V = 13.825 \text{ m}^2 * 0.08 \text{ m} = 1.106 \text{ m}^3$$

➤ **Les accotements :**

Scarification sur 5 cm de la couche de roulement en micro-béton bitumineux 0/10.

$$V = 52.650 \text{ m}^2 * 0.05 \text{ m} = 2.632,5 \text{ m}^3$$

➤ **Prolongements d'arrêt :**

Scarification sur 5 cm de la couche de roulement en micro-béton bitumineux 0/10.

$$V = 9.000 \text{ m}^2 * 0.05 \text{ m} = 450 \text{ m}^3$$

➤ **Parking :**

Scarification sur 08 cm de la couche de roulement en béton bitumineux 0/14.

$$V = 20.000 \text{ m}^2 * 0.08 \text{ m} = 1.600 \text{ m}^3$$

Soit un volume total de :  $V_T = 17056,22 \text{ m}^3$

**b) Calcul des quantités de matériaux à mettre en œuvre :**

Le calcul se fait en tenant compte des masses volumique des matériaux à mettre en œuvre (EME, BBME, Couches d'accrochage) tels que montrer ci-dessous:

**Les masses volumiques des différents matériaux :**

- La masse volumique du Béton Bitumineux est de  $2.4 \text{ t/m}^3$ .
- La masse volumique du Micro Béton Bitumineux est de  $2.4 \text{ t/m}^3$ .
- La masse volumique du Béton Bitumineux à module élevée est de  $2.65 \text{ t/m}^3$ .
- La masse volumique de la Grave Bitume est de  $2.3 \text{ t/m}^3$ .
- Les couches d'accrochage en émulsion cationique sont dosées a  $1.15 \text{ kg /m}^2$ .
- Les Couches d'imprégnation en cut-back 0/1 sont dosées a  $0.9 \text{ kg /m}^2$ .

➤ **Piste principale 05/23 :****Béton bitumineux à module élevée 0/14 :**

$$135.000 * 2.65 * 0.08 \text{ -----} = 28.620,00 \text{ tonne}$$

**Enrobée à module élevée 0/20 :**

$$135.000 * 0.22 \text{ -----} = 29.700,00 \text{ m}^3$$

**Couche d'imprégnation en émulsion cationique :**

$$3.000 * 45 * 1.15 * 10^{-3} * 2 \text{ -----} = 310.5 \text{ tonne}$$

➤ **Raquettes de manœuvre :****Béton bitumineux à module élevée 0/14 :**

$$5.846,5 * 2.65 * 0.08 \text{ -----} = 1240 \text{ tonne}$$

**Enrobée a module élevée 0/20 :**

$$5.846,5 * 0.22 \text{ -----} = 1286.23 \text{ m}^3$$

**Couche d'imprégnation en émulsion cationique :**

$$5.846,5 * 1.15 * 10^{-3} * 2 \text{ -----} = 13.45 \text{ tonne}$$

➤ **Voies de relations :****Béton bitumineux à module élevée 0/14 :**

$$13.825 * 2.65 * 0.08 \text{ -----} = 2.930,90 \text{ tonne}$$

**Enrobée a module élevée 0/20 :**

$$13.825 * 0.22 \text{ -----} = 3.041,50 \text{ m}^3$$

**Couche d'imprégnation en émulsion cationique :**

$$13.825 * 1.15 * 10^{-3} * 2 \text{ -----} = 31.80 \text{ tonne}$$

➤ **Accotement :****Micro béton bitumineux à module élevée 0/10 :**

$$52.650 * 2.65 * 0.08 \text{ -----} = 11.161,8 \text{ tonne}$$

**Grave concassée 0/31.5 :**

$$52.650 * 0.24 \text{ -----} = 12.636 \text{ m}^3$$

**Couche d'imprégnation en cut-back 0/1 :**

$$52.650 * 0.9 * 10^{-3} \text{ -----} = 47.4 \text{ tonne}$$

➤ **Prolongements d'arrêt :****Micro béton bitumineux à module élevé 0/10 :**

$$9.000 * 2.65 * 0.08 \text{ -----} = 1.908 \text{ tonne}$$

**Grave concassée 0/31.5**

$$9.000 * 0.10 \text{ -----} = 900 \text{ m}^3$$

**Couche d'imprégnation en cut-back 0/1 :**

$$9.000 * 0.9 * 10^{-3} \text{ -----} = 8.1 \text{ tonne}$$

➤ **Parking :**

**Béton bitumineux à module élevée 0/14**

$$20.000 * 2.65 * 0.08 \text{ -----} = 4240 \text{ tonne}$$

**Enrobée à module élevée 0/20**

$$20.000 * 0.27 \text{ -----} = 5400 \text{ m}^3$$

**Couche d'imprégnation en émulsion cationique :**

$$20.000 * 1.15 * 10^{-3} * 2 \text{ -----} = 46 \text{ tonne}$$

**Tableau récapitulatif des quantités de matériaux :**

Matériaux	Piste 05/23	Raquettes	Voies de relations	Accot	S.W.Y	Parking	Total
Béton bitumineux à module élevé 0/14 [Tonne]	28620	1240	2930,90	0	0	4240	<b>37030,90</b>
Enrobée à module élevée (E M E) [m <sup>3</sup> ]	29700	1286,23	3041,50	0	0	5400	<b>39424,73</b>
Micro béton bitumineux M.E [Tonne]	0	0	0	11161,80	1908	0	<b>13069,80</b>
Grave concassée [m <sup>3</sup> ]	0	0	0	12636	900	0	<b>13536,00</b>
Emulsion cationique [Tonne]	310,50	13,45	31,80	0	0	46	<b>401,75</b>
Cut-back 0/1 [Tonne]	0	0	0	47,40	08,10	0	<b>55,50</b>

**Tableau N° VII.3 :** Récapitulatif des quantités de matériaux à mettre en œuvre.

#### **IV. Matériaux à mettre en œuvre et leurs caractéristiques :**

Le choix des matériaux à utiliser ainsi que leurs caractéristiques sont conditionnés par la variante qu'on a retenue (Enrobés à module élevés), et sont exposés dans :

**(Chapitre VI, Variante III page 91-93)**

V. Evaluation financière final du projet :

Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire DA	Prix Global DA
<b>Section 01 : Installation et repli du matériel</b>				
Installation du chantier	F	/	20 000 000,00	20 000 000,00
Désinstallations de chantier	F	/	9 000 000,00	9 000 000,00
<b>Totale de section 01 : 29 000 000,00 DA</b>				
<b>Section 2 : Travaux préparatoire et scarification</b>				
Scarification du revêtement superficiel existant sur 08 cm	M <sup>3</sup>	17 056,22	3 000,00	51 168 660,00
Nettoyage et Colmatage des fissures	MI	21 200	250,00	5 300 000,00
<b>Totale de section 02 :</b>				
<b>Section 3 : exécution des Tavaux</b>				
Fourniture et mise en œuvre de couche en émulsion cationique	tonne	401,75	95 000,00	38 166 250,00
Fourniture et mise en œuvre de couche en cut-back 0/1	tonne	55,50	75 000,00	4 162 500,00
Fourniture et mise en œuvre de couche en grave concassée 0/31.5	M <sup>3</sup>	13536,00	2 800,00	37 900 800,00
Fourniture et mise en œuvre d'enrobé à module élevé 0/20	M <sup>3</sup>	39424,73	7 500,00	295 685 475,00
Fourniture et mise en œuvre de béton bitumineux à module élevé 0/14	tonne	37030,90	8 000,00	296 240 000,00
Fourniture et mise en œuvre de micro biton bitumineux à module élevé 0/10	tonne	13 069,80	6 700,00	87 567 660,00
<b>Totale de section 03 :</b>				
<b>Section 04 : travaux peinture pour marquage</b>				
Marquage des chaussées,	M <sup>2</sup>	8 463,80	500,00	4 231 900,00
<b>Totale de section 04 :</b>				
<b>Section 05 : travaux d'assainissements</b>				
Fourniture et pose des Fossés trapézoïdaux en béton	MI	6000,00	1200,00	7 200 000,00
Fourniture et pose des Fossés en terre	MI	600,00	400,00	240 000,00
<b>Totale de section 05 :</b>				
			<b>PRIX TOTAL EN HT</b>	769 254 585,00
			<b>TVA = 17%</b>	130 773 279,50
			<b>PRIX TOTAL EN TTC</b>	900 027 864,50

Tableau N° VII.4 : Evaluation financière finale du projet.

**Arrêté le présent devis à la somme de :** Neuf cent millions vingt-sept mille huit-cent-soixante-quatre dinars et cinquante centimes.

**VI. Conclusion :**

Après la définition des nouveaux tracés géométriques pour les chaussées de l'aérodrome d'In Salah, dont on peut conclure qu'ils répondent aux différentes normes préconisées par l'OACI, la suite logique de notre étude serait de s'intéresser à leurs drainage et à l'évacuation des eaux, qu'elles soit de ruissellement ou des nappes souterraines, pour assurer la sécurité des aéronefs qui exploitent ces chaussées, mais aussi protéger ces dernières contre les effets néfastes des eaux.

# Chapitre VIII

## Assainissement

### des chaussées aéronautiques

**I. Introduction :**

Le souci de l'évacuation des eaux est quasi présent dans la plupart des études de génie civil, et plus encore lorsqu'il s'agit des bases aériennes, et cela du fait que :

- Les aérodromes sont situés dans des zones relativement plates,
- L'importance des surfaces revêtues qui amènent des débits instantanés plus importants que ceux rencontrés dans d'autres ouvrages ;
- Les pentes maximales que présentent les profils en long et en travers sont faibles ;

Ainsi donc, pour assurer la pérennité de notre aérodrome, on est amené à dimensionner un réseau de drainage de manière à satisfaire toutes les normes, de L'OACI, allant dans ce sens.

Le drainage consiste à collecter, et à évacuer le plus rapidement possible les eaux touchant la plate-forme de l'aérodrome. D'une manière générale, on peut distinguer deux types de drainage :

- Le drainage des eaux de ruissellement.
- Le drainage des eaux souterraines.

**II. Drainage des eaux souterraines :**

Les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de la nappe phréatique et d'autre part, les eaux d'infiltration. Si ce type de drainage est nécessaire, il convient de vérifier ses conséquences sur la circulation des eaux souterraines.

En général, les ouvrages consistent en des tranchées drainantes situées en bordure de chaussées revêtues, au niveau du fond de forme. Ces tranchées ont trois objectifs :

- Récupérer les eaux d'infiltration ayant traversé la chaussée, évitant ainsi leur stagnation dans la couche de forme ;
- Empêcher les eaux d'infiltration au niveau de la bande de contaminer le corps de chaussée ;
- Empêcher la remontée des eaux de la nappe phréatique dans le corps de chaussée.

** NB.:**

Le drainage des eaux souterraines est souvent un problème délicat à traiter. Il est conseillé de faire appel à des laboratoires spécialisés pour l'expertise, la conception et le dimensionnement d'un réseau de drainage convenable.

**III. Drainage des eaux de ruissellement :**

Chaque zone homogène d'une plate-forme aéroportuaire bénéficie d'un traitement particulier. On distingue quatre au total :

- La **zone vie** (aérogares, parkings, voitures, voiries d'accès...) ; elle ne possède pas de spécificité aéronautique et son système d'assainissement se conçoit comme celui d'une zone urbaine ;
- Les **aires d'activités industrielles** où sont installés les équipements nécessaires à la maintenance lourde des avions et aux activités liées au fret. Ces équipements sont bien souvent des installations classées et doivent respecter la réglementation qui leurs est appliquée;
- Les **aires de manœuvres** comprenant pistes et voies de circulation ;
- Les **aires de stationnement** sur les quelles s'effectuent les opérations de chargement et déchargement, de maintenance légère, d'avitaillement et de dégivrage des avions.

En ce qui concerne les deux derniers cas, pour un dimensionnement de réseau de drainage, la **méthode rationnelle** est la plus souvent utilisée et c'est l'événement pluvial de **période de retour égale à 10 ans** qui est retenu.

**IV. Fonctions d'un réseau de drainage :**

Le réseau de drainage remplit plusieurs fonctions :

- Evacuer rapidement les eaux de ruissellement de la surface des aires de manœuvre afin de réduire les risques d'aquaplanage et de dérapage des avions ;
- Protéger le corps de chaussée contre les infiltrations d'eau ;
- Eviter les ravinements et stagnation d'eaux sur les bandes aménagées et les plates-formes autour des aides radioélectriques ;
- Eviter les rejets directs dans le milieu naturel, non conformes aux dispositions de la loi sur les eaux.

**V. Dimensionnement du réseau de drainage pour notre projet :**

La méthodologie générale de dimensionnement consiste à vérifier que le débit à évacuer est inférieur ou égal au débit capable de l'ouvrage choisi.

Ce dimensionnement doit être compatible avec les conditions d'une bonne exécution et un entretien facile.

### 1. Détermination des Bassin versant :

Dans notre cas en fixe comme hypothèse de calcul pour les bassins versent ce qui suit :

- La plateforme aéroportuaire d'une surface de 3200\*150 m représente la surface totale à drainée ;
- Vue que le profil en travers de la piste et de ses bandes est un profil en toit avec des pentes de 1,5 %, et que le profil en long ne présente pas de pentes suffisantes (de l'ordre du millième) pour l'évacuation des eaux de ruissellement en longueur, il est donc nécessaire de divisé la plateforme **en deux (02) bassins versant** égaux de **3200 m** de longueur et de **75 m** de largeur, dont chaque un va drainer un seul coté de la surface totale de la plate forme. Dans ce qui va suivre nous allons faire le calcul que pour un seul bassin versent (car le calcul est le même pour le deuxième).

D'où la surface d'un seul bassin est de :  $S_{\text{Bassin}} = 0.24 \text{ KM}^2$

### 2. Caractéristiques des averses :

Une averse est définie par trois facteurs :

- Intensité ;
- Durée;
- Fréquence.

On appelle intensité moyenne d'une averse, le rapport entre la quantité d'eau tombée par unité de surface et la durée de la chute, cette intensité est exprimée en « mm/h ».

Pour la fréquence, elle est fonction de la période de retour, par exemple l'averse peut présenter une fréquence de 10 ans.

### 3. Calcul du débit d'apport (débit de ruissellement) :

La formule qui traduit la relation entre le débit maximal arrivant au point considéré, la surface à drainée et l'intensité de l'averse est :

$$Q_a = K \times C \times I_t \times A$$

Avec :

$Q_a$ : Débit d'apport en  $\text{m}^3/\text{s}$  ;

K : coefficient de conversion qui est égal à **0.278**.

C : Coefficient de ruissellement (dépond des caractéristiques de la surface à drainer) ;

$I_t$ : Intensité de l'averse de durée égale au temps de concentration exprimée en mm/h ;

A : superficie de la surface drainée en  $\text{Km}^2$ .

**a. Coefficient de ruissellement :**

Le coefficient de ruissellement d'une surface varie au cours d'une averse avant de se stabiliser, il dépend essentiellement :

- De la nature des revêtements sur les ruisselles d'eau ;
- Des pentes des surfaces drainées ;
- De la température de l'air, du sol, de l'eau, degré hygrométrique de l'air, et de la saison.

La valeur du coefficient « C » est fixée à partir du tableau ci-dessus :

Types de surfaces	Coefficient de Ruissellement
Revêtement en enrobé	0.80 à 0.95
Revêtement en béton de ciment	0.70 à 0.90
Revêtement par un enduit superficiel	0.35 à 0.70
Sols imperméables nus (argileux)	0.40 à 0.65
Sols imperméables mais engazonnés	0.30 à 0.55
Sols légèrement perméables nus	0.15 à 0.40
Sols légèrement perméables engazonnés	0.10 à 0.30
Sols perméables nus	0.05 à 0.20
Sols perméables engazonnés	0.00 à 0.01

**Tableau N° VIII.1 : Valeurs des coefficients de ruissèlement.**

Dans le cadre de notre projet on prend deux types de surfaces :

- ❖ Surface de la piste et des accotements présentent un revêtement en enrobé à module élevé donc la valeur du coefficient de ruissellement est entre 0.80 et 0.95 on **prend C = 0.95**
- ❖ Surface de la bande de piste ne présentent pas de revêtement, et constitué d'un sol perméable nue. D'où la valeur du coefficient de ruissellement entre 0.05 et 0.20 on **prend C = 0.20**

Puisque le bassin à drainer est constituée de deux surfaces S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, de natures différentes, le coefficient de ruissellement à prendre en compte sera la **moyenne pondérée des coefficients C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>**, donnée par la formule suivante :

$$C = \frac{(C_i \times A_i)}{A_i}$$

$$C = \frac{0.95 \times 0.096 + 0.20 \times 0.144}{0.096 + 0.144} = \mathbf{0.50}$$

Donc la valeur du coefficient de ruissellement à prendre en considération pour notre projet est :

$$\mathbf{C = 0.50}$$

**b. Intensité de l'averse :**

L'intensité de l'averse  $I_t$  est donnée par la relation suivante :

$$I(t, T) = a(T) / t^b \text{ en [mm/h]}$$

Avec :

a et b : Paramètres de Montana, dépend de la région ;

a(T) : coefficient fonction de la période de retour (T).

b = exposant climatique de la région.

**NB :**

Dans le cadre de notre projet, pour cause de manque de données concernant la région d'In Salah (Tamanrasset) on a opté pour les données de la région de Saida (fournie par la SAETI) ayant une pluviométrie serte supérieure mais plus sécuritaire vis-à-vis de la plateforme de notre aérodrome. Et cela afin de faire une application numérique, pratique de démonstration étant donné que le principe de calcul reste le même.

Le paramètre (a) pour les différentes fréquences est donné dans le tableau suivant :

I(t,T)	2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
1heur	11,6	17,6	21,5	25,3	30,2	33,9
2h	7,00	10,5	13,00	15,3	18,2	20,4
3h	5,2	7,9	9,7	11,4	13,6	15,2
6h	3,1	4,8	5,8	6,8	8,2	9,2
12h	1,9	2,9	3,5	4,1	4,9	5,5
24h	1,1	1,7	2,1	2,5	3,00	3,3

**Tableau N° VIII.2 :** Paramètre (a) pour les différentes fréquences de la région de Saida.

Ainsi donc : pour une période de retour de 10 ans, une durée de temps de concentration de 1 heure, et avec b = exposant climatique de la région de Saida = 0,73 ;

On aura :  $a(10) = 21,5$  et  $b = 0,73$

D'où:  $I(1, 10) = 21.5 / 1^{0,73} = 21.5 \text{ mm/h}$

**En conclusion le débit d'apport est de :**

$Q_a = K \times C \times I_t \times A$  Donc:  $Q_a = 0,278 \times 0,50 \times 21,5 \times 0,24 = 0,717 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_a = 0,717 \text{ m}^3/\text{s}$$

**4. Calcul du débit de saturation de l'ouvrage :**

Le calcul des écoulements dans les réseaux d'assainissement doivent être conduits en fonction des contraintes : débit connu, section et pentes des collecteurs imposées.

Le débit de saturation  $Q_s$  s'exprime par la formule :  $Q_s = V \times S$

Dans laquelle

$S$  : section du profil mouillée ;

$V$  : la vitesse moyenne de l'écoulement.

La vitesse se calcule par différentes expressions, si on choisit la formule de **Manning**, la vitesse en m/s est déterminée par l'expression suivante :

$$V = K_{ST} \times R_H^{2/3} \times i^{1/2}$$

Avec :

$i$  : Pente de l'ouvrage d'évacuation m/m ;

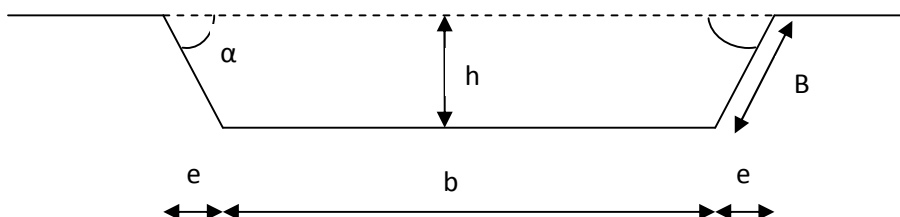
$R_H$  : Rayon hydraulique, tel que :  $R_H = \frac{\text{Section de profil mouillé}}{\text{Périmètre du profil mouillé}} ;$

$K_{ST}$  : Coefficients de rugosité (donnés par MANING STICKLER) qui sont les suivants:

- Parois en terre :  $K_{ST} = 30$
- Buses métalliques :  $K_{ST} = 40$
- Maçonneries :  $K_{ST} = 50$
- Fosse en Béton :  $K_{ST} = 70$
- Buses préfabriquées :  $K_{ST} = 80$

❖ **Dimensionnement des fossés :**

On propose de procéder à un dimensionnement avec des fossés en béton, dont le profil en travers hypothétique est donné dans la figure ci-dessous :



- $S_m$ : Surface mouillée du profil ;
- $P_m$ : Périmètre mouillé du profil ;
- $R_H$  : Rayon hydraulique,  $R = S_m / P_m$  ;
- $P$  : Pente du talus, avec :  $P = 1 / n$ .

Pour notre projet on a opté pour un fossé de base  $b = 40 \text{ cm}$  et de hauteur  $h = 50 \text{ cm}$  et dont la pente du talus est de  $1 / n = 2/3$ , d'où la possibilité de calcul du rayon hydraulique en fonction de la hauteur  $h$ , on suppose que notre ouvrage travail à **plaine section**.

**a) Calcul de la surface mouillée du profil :**

$$S_m = bh + 2 \frac{eh}{2} \quad \text{Avec : } tg = \frac{h}{e} = \frac{1}{n} \quad \text{Et : } e = n.h$$

$$\text{On a : } n = 3/2 \quad S_m = bh + n \times h^2 = h \times (b + n \times h)$$

$$S_m = 0,50 \times (0,40 + \frac{3 \times 0,50}{2}) = 0,575 \text{ m}^2$$

En résumé la surface mouillée du profil est de :  **$S_m = 0,575 \text{ m}^2$**

**b) Calcul du périmètre mouillé du profil :**

$$P_m = b + 2B$$

$$\text{Avec : } B = \sqrt{h^2 + e^2} = \sqrt{h^2 + h^2 \times n^2} = h \times \sqrt{1 + n^2}$$

$$\text{D'où : } P_m = b + 2h \sqrt{1 + n^2}$$

$$\text{AN : } P_m = 0,40 + 2 \times 0,50 \sqrt{1 + (\frac{3}{2})^2} = 2,20 \text{ m}$$

En résumé le périmètre mouillé du profil est de :  **$P_m = 2,20 \text{ m}$**

**c) Calcul du rayon hydraulique :**

$$R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{h \times (b + n \times h)}{b + 2h \sqrt{1 + n^2}}$$

$$\text{AN : } R_h = \frac{S_m}{P_m} = \frac{0,575}{2,20} = 0,261 \text{ m}$$

En résumé le rayon hydraulique est de :  **$R_h = 0,261 \text{ m}$**

d) Calcul de la vitesse moyenne d'écoulement :

$$V = K_{ST} \times R_H^{2/3} \times i^{1/2}$$

Avec :  $K_{ST} = 70$  fosse en béton ;  $R_H = \frac{S_m}{P_m} = 0,261$  m ;  $i = 0,5$  % Pente de l'ouvrage d'évacuation ;

D'où : 
$$V = 70 \times 0,261^{2/3} \times 0,005^{1/2}$$

En résumé la vitesse moyenne d'écoulement est de : 
$$V = 2,04 \text{ m/s}$$

Donc on arrive finalement à un débit de saturation de :

$$Q_s = V \times S_m \quad \text{ou bien,} \quad Q_s = K_{ST} \times R_H^{2/3} \times i^{1/2} \times S_m$$

$$Q_s = 2,04 \times 0,575 \text{ m}^2 = 1,173 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donc en résumé le débit de saturation de l'ouvrage avec les dimensions imposés au départ est de

$$Q_s = 1,173 \text{ m}^3/\text{s}$$

5. Vérification de la vitesse moyenne d'écoulement :

La vitesse des fossés en béton armé pour l'écoulement à surface libre est comprise dans l'intervalle suivant :

$$0,6 \text{ m/s} < V < 4 \text{ m/s}$$

**NB** : Extraite de livre de Régis Bourrier (les réseaux d'assainissement) page 250.

$V_{\min} = 0,6$  m/s : généralement en section pleine, qui donne à section réduite la vitesse minimale d'auto-curage, on peut admettre des vitesses inférieures pour de l'eau claire.

$V_{\max} = 4$  m/s : compris entre 4 et 5 m/s, limite de changement d'état laminaire en tourbillonnaire.

On a : 
$$V = 2,04 \text{ m/s} \quad \text{Condition vérifiée.}$$

VI. Conclusion :

Etant donné que ( $Q_a = 0,717 \text{ m}^3/\text{s} < Q_s = 1,173 \text{ m}^3/\text{s}$ ) le débit de ruissellement est inférieur au débit capable de l'ouvrage, on peut conclure que les dimensions du fossé qu'on a choisies sont satisfaisantes pour que celui-ci soit en mesure d'évacuer le débit des eaux ruissellement.

# Chapitre IX

## Balisage et signalisation des chaussées aéronautiques

**I. Introduction :**

Afin de fournir au pilote les informations visuelles complémentaires (localisation et délimitation de la piste) nécessaires à la conduite des évolutions, des manœuvres d'approche et d'atterrissage effectuées, l'OACI recommande d'utiliser un balisage (lumineux et non lumineux), accompagné d'une signalisation sur l'ensemble des aires de l'aérodrome.

La maintenance des installations pour les différentes signalisations et marquages s'inscrit dans l'objectif du maintien en conditions opérationnelles des infrastructures des aires de mouvement aéroportuares. Elle recouvre l'ensemble des mesures qui permettent de maintenir ou de rétablir l'état fonctionnel des équipements, d'en évaluer la conformité aux référentiels réglementaires applicables et globalement de réduire les risques de défaillances d'exploitation.

**II. Les principales marques de balisage sur l'aérodrome :****II.1 Balisage non lumineux :**

Le balisage non lumineux peut être réalisé soit par des marques, soit par des balises et marques suivant qu'il s'agit de parties revêtues ou non revêtues de l'aérodrome.

Les marques ne font pas saillies sur la surface qui les porte, et sont visibles en vol. Par contre les balises font saillie au-dessus du sol, émergent de la végétation éventuelle et sont visibles pendant le roulement. Le balisage des pistes et des voies de relation revêtu est le suivant :

**❖ Marques d'identification de piste :**

Les marques d'identification de piste sont constituées sur chaque seuil par un nombre à deux chiffres. Représentent le nombre entier le plus proche du dixième de l'azimut magnétique de l'axe de la piste mesuré en degrés à partir de Nord magnétique dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans le cas où le nombre obtenu est inférieur à dix, ce nombre est précédé d'un zéro (0). Dans le cas de l'aérodrome d'In Salah ces marques d'identification sont 05/23.

**❖ Marques d'axe de piste :**

Les pistes avec revêtement sont dotées de marques d'axe de piste. Ces marques sont représentées par une ligne des traits discontinue uniformément centrés sur l'axe de la piste, la largeur du trait ne sera pas inférieure à 0.90 m et sa longueur est de 30 m.

**❖ Marques de seuil :**

Les marques de seuil de piste commencent à 6 m en aval de celui-ci et sont constituées par des bandes de 30 m de longueur parallèle à l'axe de la piste et disposées symétriquement par rapport à cet axe. La largeur de la piste détermine le nombre des bandes ; leur largeur et l'espacement entre deux bandes consécutives.

**❖ Marques latérales de délimitation d'une piste :**

Ces marques se présentent sous forme d'une ligne continue tracée entre les deux seuils le long du bord de piste de telle sorte, en général, que la limite extérieure de cette bande coïncide avec le bord de la piste.

Pour les pistes dont la largeur est supérieure ou égale à 30 m, les marques latérales auront une largeur de 0.90 m.

**❖ Marques de distance constante :**

Seront disposées aux deux extrémités d'une piste avec une distance constante se situent entre 300 et 400 mètres en aval du seuil, elles sont constituées par deux marques rectangulaires nettement visible de 45 mètres à 60 mètres de longueur et de 6 mètres à 10 mètres de largeur.

**❖ Marques de zone de toucher des roues :**

Les marques de zone de toucher des roues sont constituées de paires de marques rectangulaires de 22.50 m de longueur disposées parallèlement et symétriquement à l'axe de la piste, sur une distance de 18 mètres entre cotés intérieurs des marques d'une même paire. Ces paires de marques sont disposées à intervalles longitudinaux de 150 m à partir du seuil de piste, elles fournissent au pilote les éléments de guidage pour la prise de contact avec la surface de la piste et des indications de distance par rapport au seuil.

**❖ Marques axiales des voies de circulation et bretelles :**

Les marques axiales seront disposées sur une voie de circulation de manière à assurer un guidage à partir de l'axe de la piste jusqu'à l'aire de stationnement des aéronefs. Les marques axiales des voies de circulation auront au moins 15 cm de largeur et seront continue.

**❖ Marques de point d'attente de circulation :**

Ces marques seront disposées pour indiquer l'emplacement où les aéronefs doivent attendre l'autorisation d'accéder à une piste.

### ❖ Marques de poste de stationnement :

Les marques des postes de stationnement des aéronefs, comportent des lignes de guidage destinées à indiquer la trajectoire à suivre par l'avion et des barres de références fournissent des indications complémentaires. Les lignes de guidage ont pour but :

- D'assurer la sécurité des manœuvres des avions au poste de stationnement ;
- D'assurer la précision de positionnement de l'avion.

✚ La figure suivante montre les différents marquages :

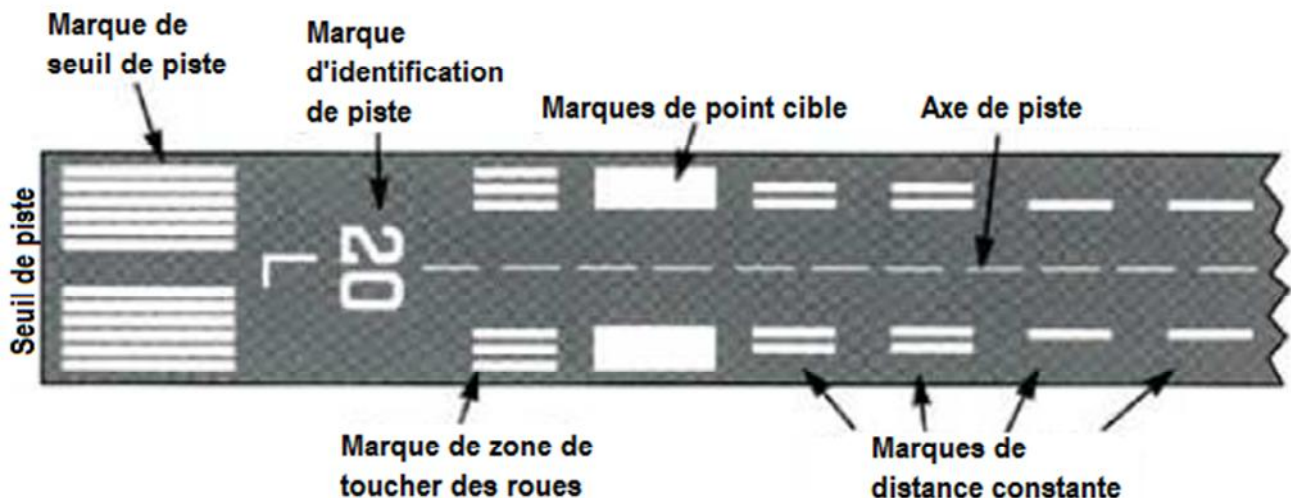


Figure N° IX.1 : Principal marquage d'une piste d'envol.

### ❖ Mise en œuvre du marquage :

Dans le cas de notre aérodrome après réalisation des travaux de renforcement, le marquage de la piste doit être remis en état de service dans le cadre de ce que préconisent les normes précédentes. Avant de passer à des travaux de marquage il est nécessaire de suivre ces étapes :

- Un pré marquage manuel est effectué à l'aide d'un cordeau ;
- Un nettoyage à la brosse pour enlever toute trace qui pourrait se trouver sur la chaussée ;
- Un dépoussiérage des surfaces à peindre est réalisé avant l'application du produit à l'aide d'une machine qui pulvérise la peinture en couche mince.

Les couleurs utilisées pour le marquage sont le blanc et le jaune, la couleur blanche est utilisée pour la piste et la ligne de sécurité du parking, la couleur jaune est utilisée pour les bretelles, voies de circulation et parking.

**II.2 Signalisation pour la circulation aérienne et au sol :**

Certaines consignes au sol et en vol sont portées à la connaissance des pilotes depuis les aérodromes, au moyen de différents signaux soit lumineux ou non. Ces signaux sont soit installés sur une aire à signaux ou tout autre endroit approprié de l'aérodrome, soit adressés d'un autre endroit par un agent du contrôle de la circulation aérienne.

Dans le présent paragraphe on ne traitera que la signalisation fixe sur l'aérodrome qui est assurée par des panneaux de signalisation parmi les quels sont distingués :

- Les panneaux d'obligation, dont l'installation est impérative sur toutes les pistes utilisées aux instruments ainsi que, sous forme simplifiée, sur les pistes utilisées uniquement à vue appartenant aux aérodromes contrôlés ;
- Les panneaux d'indication, dont l'installation est facultative.

Les panneaux de signalisation sont placés de manière à être facilement visibles par le pilote d'un aéronef et à ne pas masquer les feux qui leurs sont éventuellement associés. C'est ainsi qu'afin d'assurer au pilote leur meilleure lisibilité :

- Les panneaux sont disposés perpendiculairement à l'axe de la voie lorsqu'ils doivent être lus dans les deux sens,
- Ils forment avec l'axe de la voie un angle de 75°, lorsqu'ils ne doivent être lus que dans un sens.
- Les panneaux de signalisation sont éclairés lorsqu'ils sont utilisés de nuit de même que de jour par visibilité inférieure à 800 m. Toutefois, l'instruction ou le renseignement donné par un panneau de signalisation est valable que celui-ci soit éteint ou éclairé.

**1. Les principaux panneaux de signalisation :****❖ Panneaux d'indication :**

Les panneaux d'indication servent à indiquer une direction, un emplacement, un dégagement de bande, une sortie de piste, une destination, une information spéciale ou à rappeler une fréquence.

**❖ Panneaux d'emplacement :**

Les panneaux d'emplacement portent une inscription jaune sur fond noir. Ils sont utilisés pour indiquer un endroit précis sur l'aérodrome. Ainsi peuvent-ils, par exemple, rappeler, par leur indicatif, la voie de circulation sur laquelle se trouve un aéronef à l'intersection de celle-ci avec une piste ou une autre voie de circulation.

**❖ Panneaux de direction :**

Les panneaux de direction portent une inscription noire sur fond jaune. Et portent une flèche indiquant la direction à suivre, lorsque cette direction est à gauche, la flèche doit être placée du côté gauche du panneau. Lorsque cette direction est à droite, la flèche doit être placée du côté droit du panneau.

**❖ Panneaux de destination :**

Les panneaux de destination portent une inscription noire sur fond jaune. Ils sont utilisés pour indiquer la direction à suivre pour atteindre une zone déterminée de l'aérodrome. Les aires de trafic spécialisées reçoivent, à cet effet, les désignations suivantes :

- Aires générales de stationnement, de petit entretien, et de chargement : **RAMP** ou **APRON** ;
- Aires de stationnement réservées aux aéronefs : **PARK** ou **PARKING** ;
- Zones civiles sur les aérodromes mixtes : **CIVIL** ;
- Zones militaires sur les aérodromes mixtes : **MIL** ;
- Aires de manutention du fret : **CARGO** ;
- Zones internationales : **INTL** ;
- Aires de point fixe : **FIX** ;
- Aires d'avitaillement en carburant ou de service : **FUEL** ;
- Hangar ou zone de hangars : **HGR** ;

La direction à suivre est indiquée par une flèche selon la règle de positionnement applicable aux panneaux de direction.

**❖ Panneaux indicateurs de sortie de piste :**

Un panneau indicateur de sortie de piste est installé lorsqu'il existe un besoin opérationnel d'identifier une sortie de piste, sur le bord de piste où s'effectue la sortie, il est situé à au moins 60 m en amont du point de tangence du raccordement d'axes. Il convient d'en installer un pour chaque sens de piste utilisable. Les panneaux de sortie de piste portent une inscription noire sur fond jaune.

**❖ Panneaux spéciaux :**

Les panneaux spéciaux, portent une inscription blanche sur fond vert et peuvent être utilisés lorsqu'il convient de signaler la possibilité de commencer le décollage en un point de la piste autre que son extrémité.

❖ Panneaux d'obligation :

Les panneaux d'obligation sont destinés à signaler un emplacement au-delà duquel un aéronef ou un véhicule ne doit pas passer sauf à en avoir reçu l'autorisation contraire du contrôleur ou, en l'absence de contrôle, à avoir assuré lui-même sa sécurité.

Les panneaux d'obligation comprennent les panneaux d'arrêt, les panneaux d'interdiction et les panneaux de point d'arrêt CAT II et CAT III.

❖ Panneaux d'entrée interdite :

Un panneau d'entrée interdite est disposé chaque fois que l'entrée dans une zone donnée est interdite de façon permanente. Ainsi en est-il, par exemple, à la sortie d'une voie de circulation à sens unique. Ce panneau est disposé des deux côtés de la voie de circulation, à l'entrée de la zone dont l'accès est interdit.

Le panneau d'entrée interdite porte une indication constituée d'une barre horizontale de couleur blanche sur fond rouge circulaire.

✚ **NB :** Les figures suivantes montrent les différents panneaux d'indication et d'obligation :

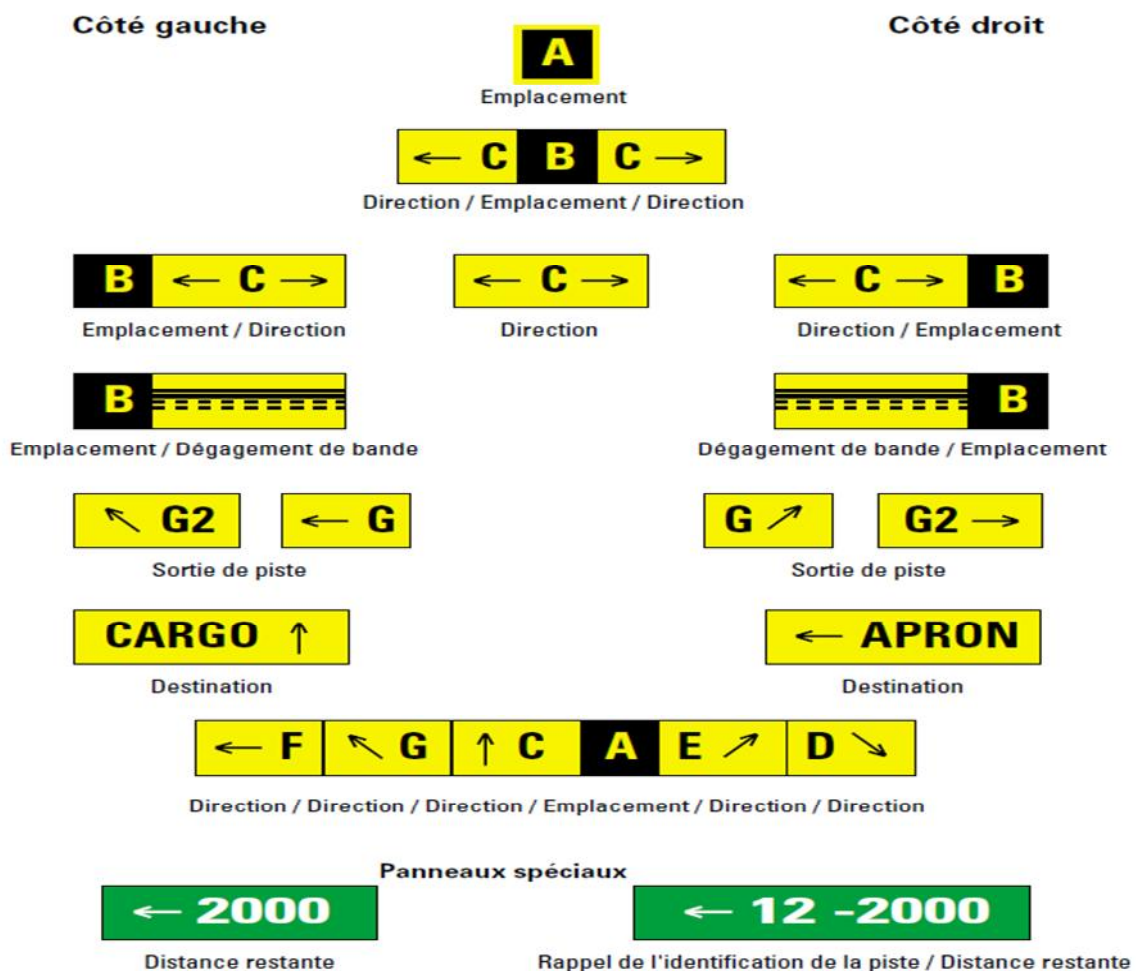


Figure N° IX.2 : Principaux panneaux d'indication sur un aéroport.

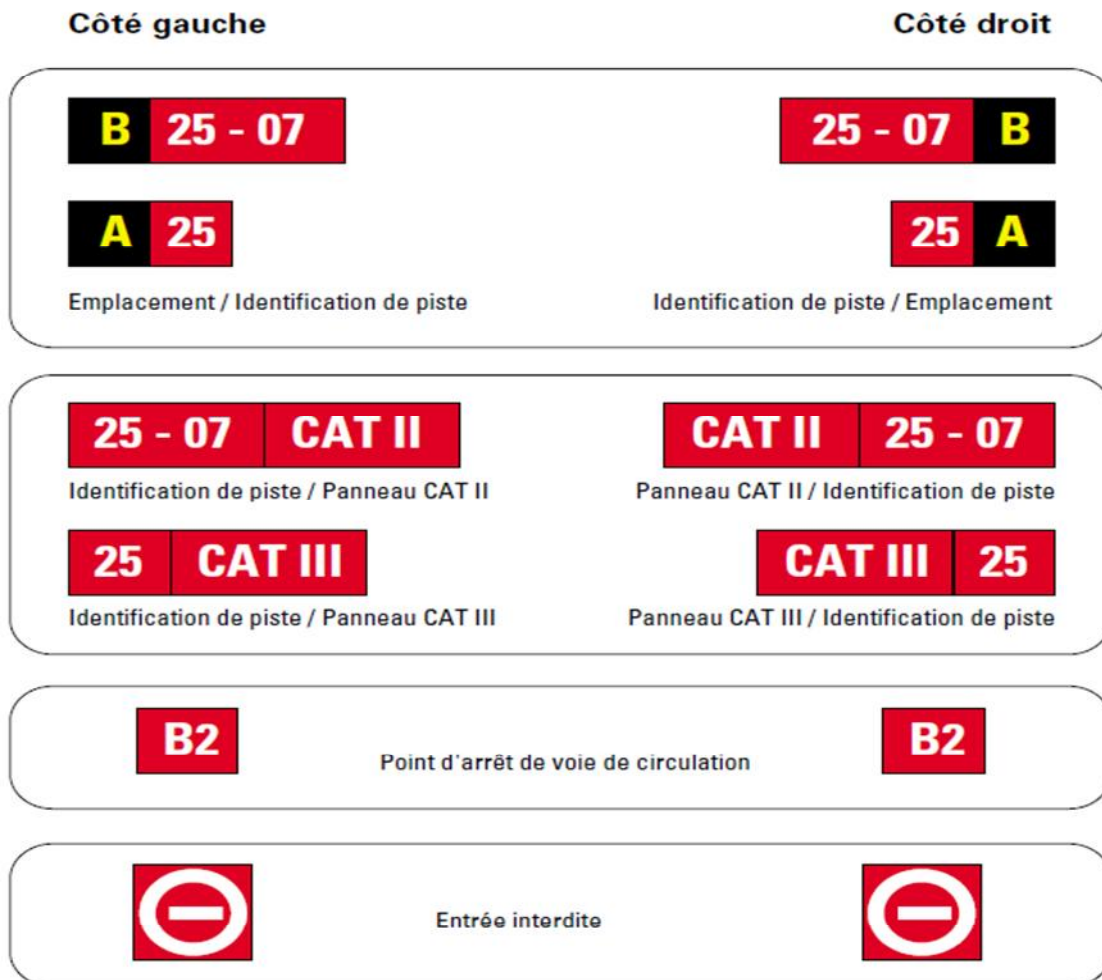


Figure N IX.3 : Principaux panneaux d'obligation sur un aérodrome.

### II.3 Balisage lumineux :

S'agissant donc de la piste elle-même, son balisage lumineux minimal est celui dont elle doit être équipée pour permettre son utilisation dans des conditions d'exploitation de vol à vue de nuit. À basse intensité, il comprend :

#### ❖ Balisage de bord de piste :

Constitué par des feux de couleur blanche (rouge face à l'atterrissage en amont d'un seuil décalé) régulièrement espacés de 60 m sur deux alignements implantés à moins de 3,00 m de chacun des deux bords latéraux de la piste.

#### ❖ Balisage d'extrémité de piste :

Comprend six feux directionnels de couleur rouge disposés perpendiculairement à l'axe de la piste à une distance de 3 m au plus au-delà de l'extrémité opposée au seuil d'atterrissage.

**❖ Balisage de seuil de piste :**

Comprenant six feux directionnels de couleur verte qui, en l'absence de décalage de seuil, se confondent avec les feux d'extrémité correspondant à l'utilisation de la piste dans le sens opposé. Dans le cas d'un seuil décalé, ce balisage de seuil doit, ou bien être composé de feux encastrés, ou bien se voir substitué deux barres de flanc composées chacune de 5 feux répartis perpendiculairement à l'axe de la piste sur au moins 10 m au-delà du bord de piste.

**❖ Balisage d'axe de piste :**

Constitué par des feux directionnels espacés de 7,5 m, 15 m ou 30 m. Disposés depuis le seuil jusqu'à l'extrémité opposée, ces feux sont de couleur blanche jusqu'à un point situé à 900 m de celle-ci, point au-delà duquel ils alternent avec des feux de couleur rouge jusqu'à un second point situé à 300 m de cette même extrémité à partir duquel ils sont de couleur rouge.

**❖ Balisage des zones de toucher de roues :**

Constitué par des barrettes de trois feux de couleur blanche, barrettes disposées tous les 30 m (ou 60 m) symétriquement par rapport à l'axe de la piste depuis le seuil et jusqu'à 900 m de celui-ci.

**❖ Balisage de la ligne d'approche :**

Concernant la ligne d'approche, son installation n'est obligatoire que lorsque la piste doit être utilisée pour des approches de précision. La fonction de cet équipement est, en effet, de permettre au pilote, lorsque la visibilité lui apparaît suffisante, de prolonger sa trajectoire de descente depuis le point où son avion a atteint la hauteur de décision jusqu'à l'aplomb du seuil de piste.

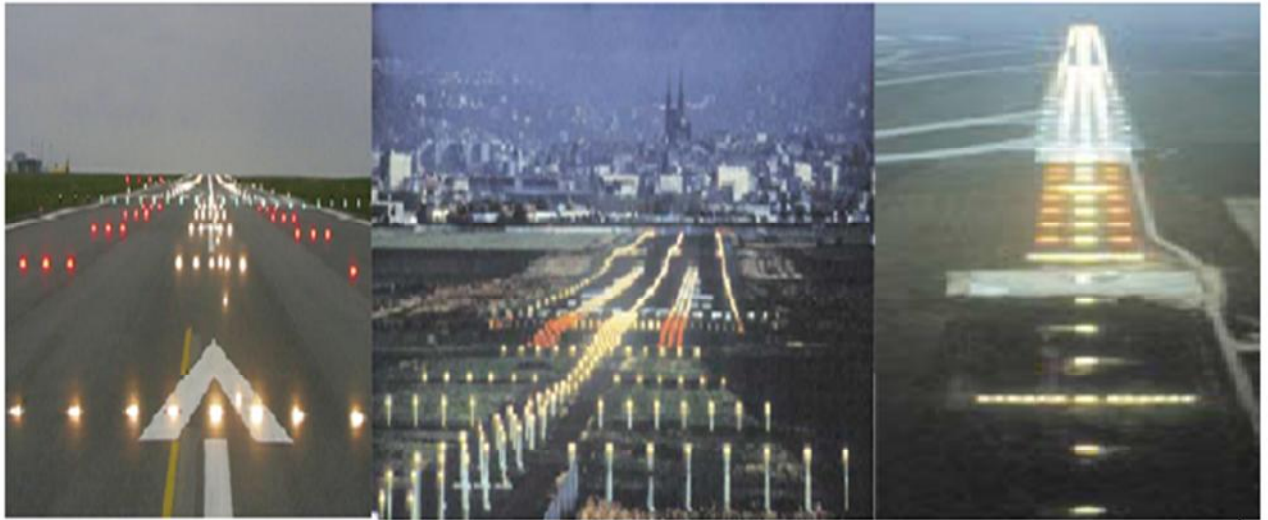
On utilise des feux de couleur blanche à haute intensité, cette configuration est, en partant du seuil, constituée par une ligne axiale composée, tous les 30 m, de :

- Un seul feu sur ses 300 premiers mètres,
- Un groupe de deux feux sur les 300 m suivants,
- Un groupe de trois feux sur ses 300 derniers mètres,
- Un ensemble de barres transversales à 150 m, 300 m, 450 m, 600 m et 750 m complétant respectivement la ligne axiale par deux fois quatre, cinq, six, sept et huit feux.

**❖ Balisage des voies de circulation :**

Constitué de feux de couleur bleue en rives complétés éventuellement par des feux, naturellement encastres, de couleur verte en ligne axiale, l'existence de celle-ci rendant alors facultatifs les feux latéraux.

✚ La figure suivante nous montre les différents balisages lumineux.



**Figure N° IX.4 :** Illustration du balisage lumineux utilisé sur un aéroport.

**III. Entretien des marques de balisage :**

La remise en peinture des marques de balisage est faite selon une périodicité dépendant de l'intensité du trafic mais aussi de l'emplacement des marques, celles d'axes de pistes et de voies de circulation étant à reprendre le plus fréquemment.

Si la dégradation des peintures est généralisée, la remise en peinture peut être précédée d'un effacement des traces de peinture résiduelles. Cet effacement peut être obtenu par brûlage, par jet d'eau haute pression, par grenailage ou par sablage. Lorsque les marques sont recouvertes d'un dépôt de gomme, celui-ci devra être éliminé avant la remise en peinture.

Les produits utilisés sont des peintures en phase aqueuse homologuées pour le domaine routier. Sur les pistes, le dosage de l'homologation routière pourra être réduit jusqu'à 50 % en veillant toutefois à l'homogénéité du film obtenu ; celle-ci sera dans ce cas vérifiée lors de la réalisation d'une planche d'essai. Ces recommandations s'appliquent également à la première mise en peinture des marques de balisage.

**IV. Conclusion :**

Dans le cadre des travaux de renforcement réalisés sur l'aérodrome d'In Salah toutes les recommandations et normes relatives au balisage et à la signalisation, préconisées par l'OACI, devront être respectées et appliquées. De ce fait le marquage sur les aires de mouvement devra être refait après les travaux et le balisage rehaussé pour suivre les dimensions des nouvelles chaussées réalisées (remise à niveau).

Le balisage et la signalisation (nouveau) devront être introduits dans les travaux à réaliser, et leur métré inclus dans l'évaluation financière du projet final de renforcement.

# CONCLUSION GENERALE

Les infrastructures de l'aérodrome de In Salah, et après auscultation et expertise, ont été déclarées comme présentant un état de service moyen avec des désordres d'ordre structurel, d'où la nécessité d'un renforcement. Celui-ci a été dimensionné en proposant plusieurs variantes qui tiennent compte des nouveaux matériaux qui sont les mieux indiqués pour répondre aux différentes contraintes liées au domaine aéronautique (Etude APS). Au final la variante en « Enrobées à module élevés » a été retenue, du fait qu'elle est optimale dans le cadre de ce projet et qu'elle représente un coût de réalisation est de Neuf cent millions vingt-sept mille huit-cent-soixante-quatre dinars et cinquante centimes (900 027 864,50 DA) (Etude APD).

La réflexion et la synthèse qu'on pourrait faire de cette modeste étude qu'on vient de faire, est que avant toute prise de décisions concernant une intervention à accomplir (Démolition, réfection, conception d'un nouveau projet...etc) sur un ouvrage de génie civil existant, il est utile et intéressant de se pencher sur les caractéristiques résiduelles (en terme de durée de vie et résistance) ; sur les services que pourrait encore nous apporter cet ouvrage en place, ainsi que s'il est possible de continuer à l'exploiter, en ayant juste à apporter des solutions innovantes et économiques pour sa remise en état optimal de service (Entretien, renforcement, rechargement...etc). Dans ce sens on a aussi constaté que la prise en considération des nouveaux procédés et matériaux de construction développés ces dernières années, est primordiale et incontournable vu leurs avantages en matière de coût et de résistances.

Ce travail nous a aussi permis de nous introduire et de nous familiariser avec cette branche du génie civil qu'est : « L'auscultation et la réparation d'ouvrage », branche fort intéressante et passionnante (car représente l'avenir du génie civil), mais aussi, complexe et exigeante étant donné son large domaine d'exploitation.

Enfin, ce projet de fin d'étude nous a permis de faire une synthèse des connaissances que l'on a reçu durant nos 10 semestres d'étude sur les bancs de l'université Mouloud Mammeri ; d'acquérir de l'expérience concernant l'élaboration d'une étude de renforcement des infrastructures aéroportuaires, et l'utilisation des nouvelles technologies de construction ; ainsi que d'élargir nos connaissances dans le domaine du génie civil en général et celui de la conception d'aérodromes en particulier.

# REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


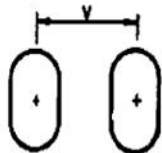

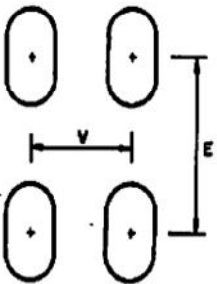
- ❖ O.A.C.I **Annexe 14** à la convention relative à l'aviation civile internationale, Volume I : Conception et exploitation des aérodromes, 04 édition Juillet 2004 ;
- ❖ O.A.C.I Document N° 9157 AN/901 : Manuel de conception des aérodromes Partie 2, 04 édition - 2005 ;
- ❖ **Instructions Techniques sur les Aérodromes Civils (ITAC)** ; Chapitres 1 jusqu'à 13 ; Octobre 2001.
- ❖ Techniques de l'ingénieur par Ivy MOUCHEL et Jérôme PETITJEAN :
  - Aérodromes : Description et classification [C 4 450] ;
  - Aérodromes : Conception [C 4 451] ;
  - Aérodromes : Prise en compte des données locales [C 4 452] ;
  - Aérodromes : Construction [C 4 453] ;
  - Aérodromes : Pour en savoir plus [Doc. C 4 454] ;
- ❖ Service Technique des **Bases Aériennes (S.T.B.A)**, L'auscultation des aérodromes Septembre 1994 ;
- ❖ **Direction Générale d'Aviation Civile (DGAC)**, **Service Technique Aviation Civile (STAC)**, Méthode de l'indice de service, Guide méthodologique Juin 2003 ;
- ❖ DGAC, STAC, Catalogue de dégradations des chaussées aéronautiques Avril 2007 ;
- ❖ L.C.P.C, Centre de Nantes, Autopsie d'une chaussée, Tristan LORINO ;
- ❖ DGAC, STAC, STBA, Guide de dimensionnement des chaussées aéronautiques **volume 1** et **volume 2**, 1983 ;
- ❖ DGAC, STAC, STBA, Tableaux de caractéristiques et abaques de dimensionnement des chaussées d'aérodromes 1993 ;
- ❖ Boeing Commercial Airplanes, 737 Airplane Characteristics for Airport Planning D6-58325-6, SEPTEMBER 2013;
- ❖ DGAC, STAC, Guide pratique de l'utilisation de la méthode ACN-PCN 1988 Copyright I.S.B.N 2.11.085574.6 ;
- ❖ Loi n°98-06 du Rabie El Aouel 1419 Correspondant au 27 juin 1998 fixant les règles générales relatives à l'aviation civile (JORA N° 48 du 28-06-1998) ;
- ❖ Loi n° 64-166 du 8 juin 1964 relative aux services aériens ;
- ❖ Thèse université de LAVAL Analyse dynamique du déflectomètre à masse tombante, Tome 1 Simon GRENIER 2007 ;

- ❖ DGAC, STAC, Journée Technique, Auscultation structurelle des chaussées aéronautiques au défectomètre à masse tombante HWD, Michaël BROUTIN 2009 ;
- ❖ Séminaire national de la route et la sûreté de la circulation 29 & 30 Novembre 2010, Université KASDI MERBAH Ouargla Algérie, Diagnostic au défectomètre HWD des chaussées aéronautiques : KEBAILI Nabil & BELHADJ Brahim Chikh, EVRNZA ;
- ❖ DGAC, STAC, Information technique du STBA, Spécifications d'uni longitudinal sur les couches de roulement des chaussées aéronautiques neuves juin 2002 ;
- ❖ Comportement en fatigue des enrobés de chaussées aéronautiques sous actions de grande intensité, M. Merbouh, D. Breysse, L. Moriceau, N. Laradi (LRPC Bordeaux, USTHB Bab Zouar, Alger) ;
- ❖ Séminaire national de la route et la sûreté de la circulation 29 & 30 Novembre 2010 Université KASDI MERBAH Ouargla, Retour d'expérience de l'utilisation des géotextiles comme solution anti-remontée des fissures dans les chaussées aéronautiques, MOUDJAHED Noureddine Ingénieur GC, Chef Dpt Etudes LTPSUD Ouargla ;
- ❖ DGAC, STAC, STBA, TECHNIQUES ANTI-REMONTÉES DES FISSURES, Guide d'emploi en chaussées aéronautiques Avril 1999 ;
- ❖ Centre de recherche routière Bruxelles: Enrobés à module élevé (EME), de la conception à la mise en œuvre, Claude DE BACKER, Katleen DENOLF, Joëlle DE VISSCHER, Lieve GLORIE, Lucien HELEVEN, Johan MAECK, Anne VANELSTRAETE, Stefan VANSTEENKISTE, Frederik VERVAECKE ;
- ❖ 1er Colloque International sur la Géologie du Sahara Algérien: Ressources Minérales, Hydrocarbures et Eau – OUARGLA 2010 ;
- ❖ S.E.T.R.A, Les Enrobés à module élevé (EME), Avril 1997 ;
- ❖ DGAC, STAC, Information technique du STBA, Emploi des matériaux bitumineux à module élevé, novembre 1998 ;
- ❖ Mémoires de fin d'études UMMTO (Promo 2010), ENTP (Promo 2008) ;
- ❖ Services de l'Information Aérienne (SIA) Algérie [www.sia-enna.dz](http://www.sia-enna.dz) ;
- ❖ Données et plans relatifs à l'aérodrome d'In Salah fournies par la S.A.E.T.I et L.T.P. Sud ;
- ❖ Cours Aérodrômes UMMTO.

# Annexes

## Annexe N I.1

❖ Illustration sur les atterrisseurs des aéronefs :

Géométrie	Type d'atterrisseur	Exemples	V	E	Masses supportées	Pression de gonflage des pneumatiques
	ROUE SIMPLE	- avions légers	—	—	jusqu'à 5 t	0,3 - 0,6 MPa
	JUMELAGE (ou DIABOLO)	- avions légers - courts et moyens courriers	50-90 cm	—	5 à 40 t	0,6-1,2 MPa
	TANDEM	- avions militaires (configuration rare)	—	130-170 cm	10 à 20 t	0,4-0,8 MPa
	BOGGIE	Tous types sauf avions légers. Principalement long-courriers	40-140 cm	100-180 cm	20 à 90 t	1 -1,6 MPa
<p>VOIE (V) : distance entre deux roues d'un même essieu.                      EMPATTEMENT (E) : distance entre l'essieu avant et l'essieu arrière.</p>						

## Annexe N I.2

### ❖ Caracteristiques du BOEING 737-800 :

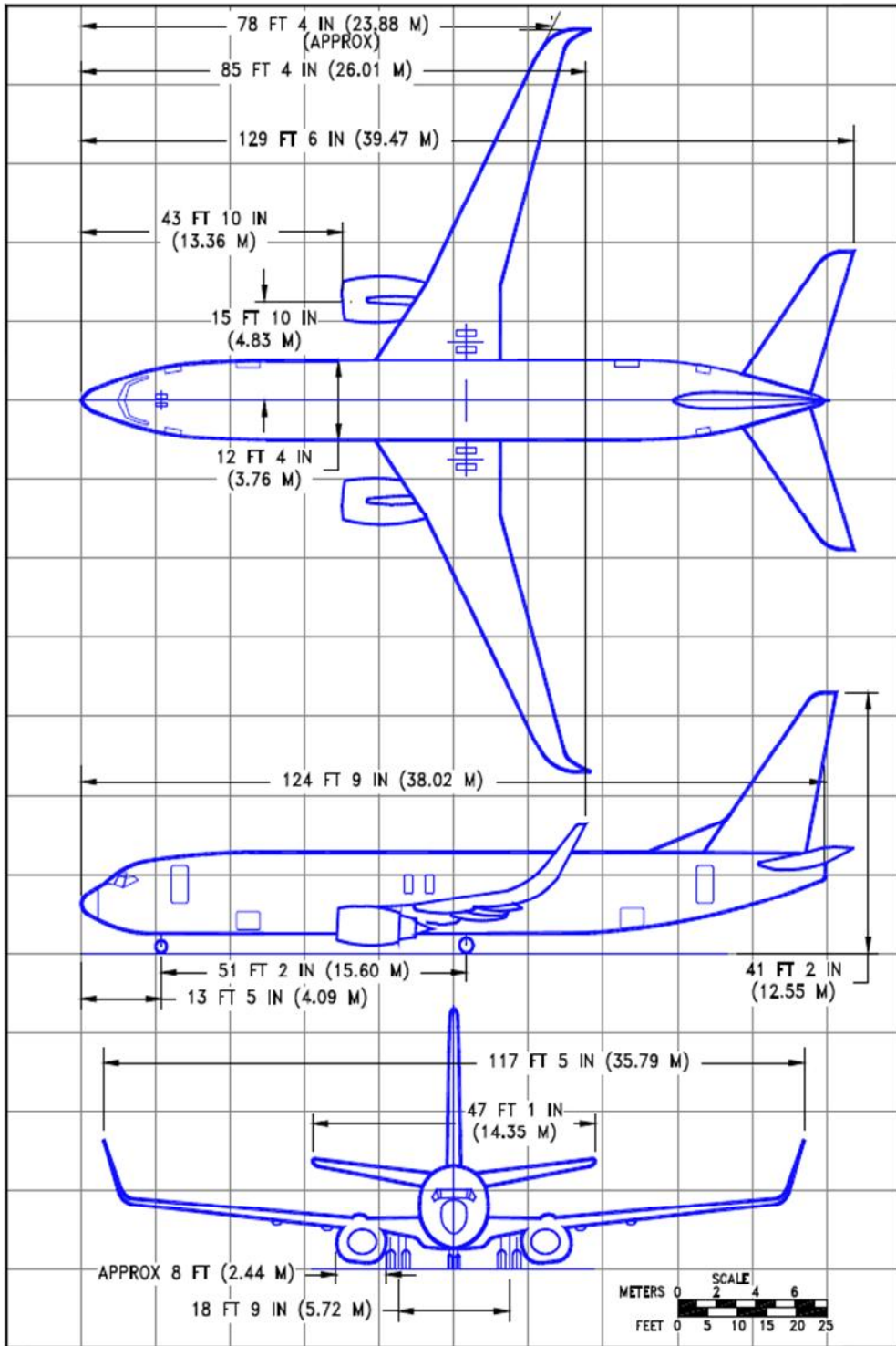
CHARACTERISTICS	UNITS	MODEL 737-800, -800 WITH WINGLETS		
MAX DESIGN TAXI WEIGHT	POUNDS	156,000	173,000	174,900
	KILOGRAMS	70,760	78,471	79,333
MAX DESIGN TAKEOFF WEIGHT	POUNDS	155,500	172,500	174,200
	KILOGRAMS	70,534	78,245	79,016
MAX DESIGN LANDING WEIGHT	POUNDS	144,000	144,000	146,300
	KILOGRAMS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

NOTE: (1) OPERATING EMPTY WEIGHT FOR BASELINE MIXED CLASS CONFIGURATION.  
CONSULT WITH AIRLINE FOR SPECIFIC WEIGHTS AND CONFIGURATIONS.

### 2.1.11 GENERAL CHARACTERISTICS *MODEL 737-800, -800 WITH WINGLETS*

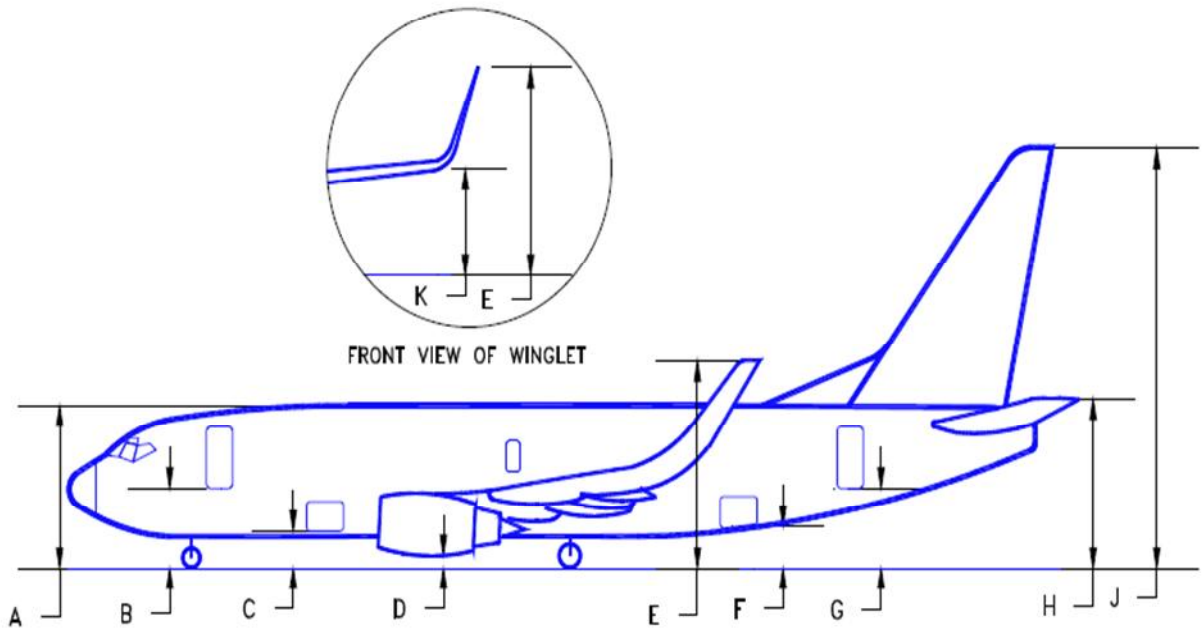
D6-58325-6

DECEMBER 2010 23



**2.2.12 GENERAL DIMENSIONS**  
*MODEL 737-800 WITH WINGLETS, 737 BBJ2*

## Annexe N I.2



DESCRIPTION	737-700 WITH WINGLETS, BBJ				737-800 WITH WINGLETS, BBJ2				737-900 WITH WINGLETS				
	MAX (OEW)		MIN (MTW)		MAX (OEW)		MIN (MTW)		MAX (OEW)		MIN (MTW)		
	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	FT - IN	M	
A	TOP OF FUSELAGE	18 - 3	5.56	17 - 9	5.41	18 - 3	5.56	17 - 9	5.41	18 - 4	5.59	17 - 10	5.41
B	ENTRY DOOR NO 1	9 - 0	2.74	8 - 6	2.59	9 - 0	2.74	8 - 6	2.59	9 - 0	2.74	8 - 6	2.59
C	FWD CARGO DOOR	4 - 9	1.45	4 - 3	1.30	4 - 9	1.45	4 - 3	1.30	4 - 9	1.45	4 - 3	1.30
D	ENGINE	2 - 0	0.61	1 - 6	0.46	2 - 1	0.64	1 - 7	0.48	2 - 1	0.64	1 - 7	0.48
E	WINGTIP	21 - 9	6.63	21 - 3	6.48	22 - 2	6.76	21 - 4	6.50	22 - 2	6.76	21 - 4	6.50
F	AFT CARGO DOOR	5 - 10	1.78	5 - 4	1.63	5 - 11	1.80	5 - 5	1.65	5 - 11	1.80	5 - 5	1.65
G	ENTRY DOOR NO 2	10 - 2	3.10	9 - 8	2.95	10 - 3	3.12	9 - 9	2.97	10 - 3	3.12	9 - 9	2.97
H	STABILIZER	18 - 5	5.61	17 - 11	5.46	18 - 6	5.64	18 - 0	5.49	18 - 7	5.66	18 - 1	5.51
J	VERTICAL TAIL	41 - 7	12.67	40 - 10	12.45	41 - 5	12.62	40 - 7	12.37	41 - 5	12.62	40 - 7	12.37
K	BOTTOM OF WINGLET (APPROOX)	13 - 9	4.19	13 - 3	4.04	14 - 2	4.32	13 - 4	4.06	14 - 2	4.32	13 - 4	4.06

NOTES: CLEARANCES SHOWN ARE NOMINAL. ADD PLUS OR MINUS 3 INCHES TO ACCOUNT FOR VARIATIONS IN LOADING, OLEO AND TIRE PRESSURES, CENTER OF GRAVITY, ETC.

DURING ROUTINE SERVICING, THE AIRPLANE REMAINS RELATIVELY STABLE, PITCH AND ELEVATION CHANGES OCCURRING SLOWLY.

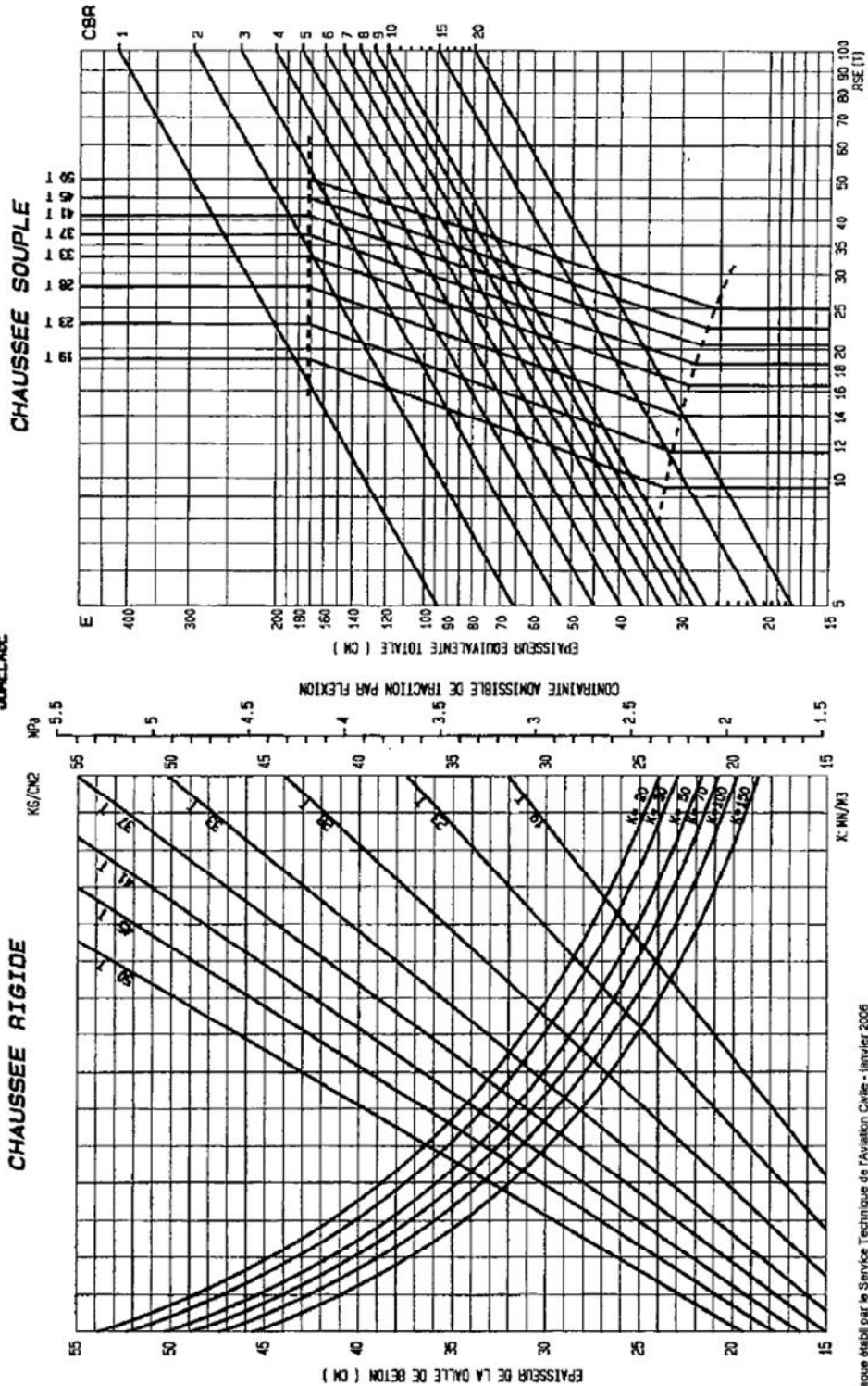
### 2.3.5 GROUND CLEARANCES

*MODEL 737-700, -800, -900, -900ER WITH WINGLETS, BBJ, BBJ2*

PRESSION = 1.41 MPa  
VOIE = 0.860 m

**B737 800**  
**ATTERISSEUR PRINCIPAL**  
JUMELAGE

MASSE MAXI ROULAGE (kg) = 79 500  
MASSE A VIDE OPERATIONNELLE (kg) = 41 500  
CENTRAGE AR MAX (%) = 46.77



abaque établi par le Service Technique de l'Aviation Civile - janvier 2006  
diffusion libre sous réserve du respect de l'intégrité du document reproduit

3/7

Abaque de dimensionnement caractérisant le B737-800.

# Annexe N I.2

## Valeurs d'ACN du Boeing 737-800

Constructeur : <b>BOEING</b>		<b>B 737-800</b>		Mise à jour :																																												
Commentaire :				Numéros d'ACN																																												
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="8">CLASSES</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Masse de calcul (Kg)</th> <th colspan="4">CHAUSSEES SOUPLÉS</th> <th colspan="4">CHAUSSEES RIGIDES</th> </tr> <tr> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>79243</td> <td>43</td> <td>46</td> <td>51</td> <td>56</td> <td>50</td> <td>52</td> <td>54</td> <td>56</td> </tr> <tr> <td>41413</td> <td>21</td> <td>21</td> <td>23</td> <td>26</td> <td>23</td> <td>24</td> <td>26</td> <td>27</td> </tr> </tbody> </table>		CLASSES								Masse de calcul (Kg)	CHAUSSEES SOUPLÉS				CHAUSSEES RIGIDES				A	B	C	D	A	B	C	D	79243	43	46	51	56	50	52	54	56	41413	21	21	23	26	23	24	26	27
CLASSES																																																
Masse de calcul (Kg)	CHAUSSEES SOUPLÉS				CHAUSSEES RIGIDES																																											
	A	B	C	D	A	B	C	D																																								
79243	43	46	51	56	50	52	54	56																																								
41413	21	21	23	26	23	24	26	27																																								
<b>Caractéristiques générales</b>																																																
Masse Maxi au roulage (Kg)	Masse Maxi au décollage (Kg)	Masse Maxi à l'atterrissage (Kg)	Masse à vide opérationnelle (Kg)																																													
79243	79016	66361	41413																																													

❖ Principe de fonctionnement d'une aéroport :

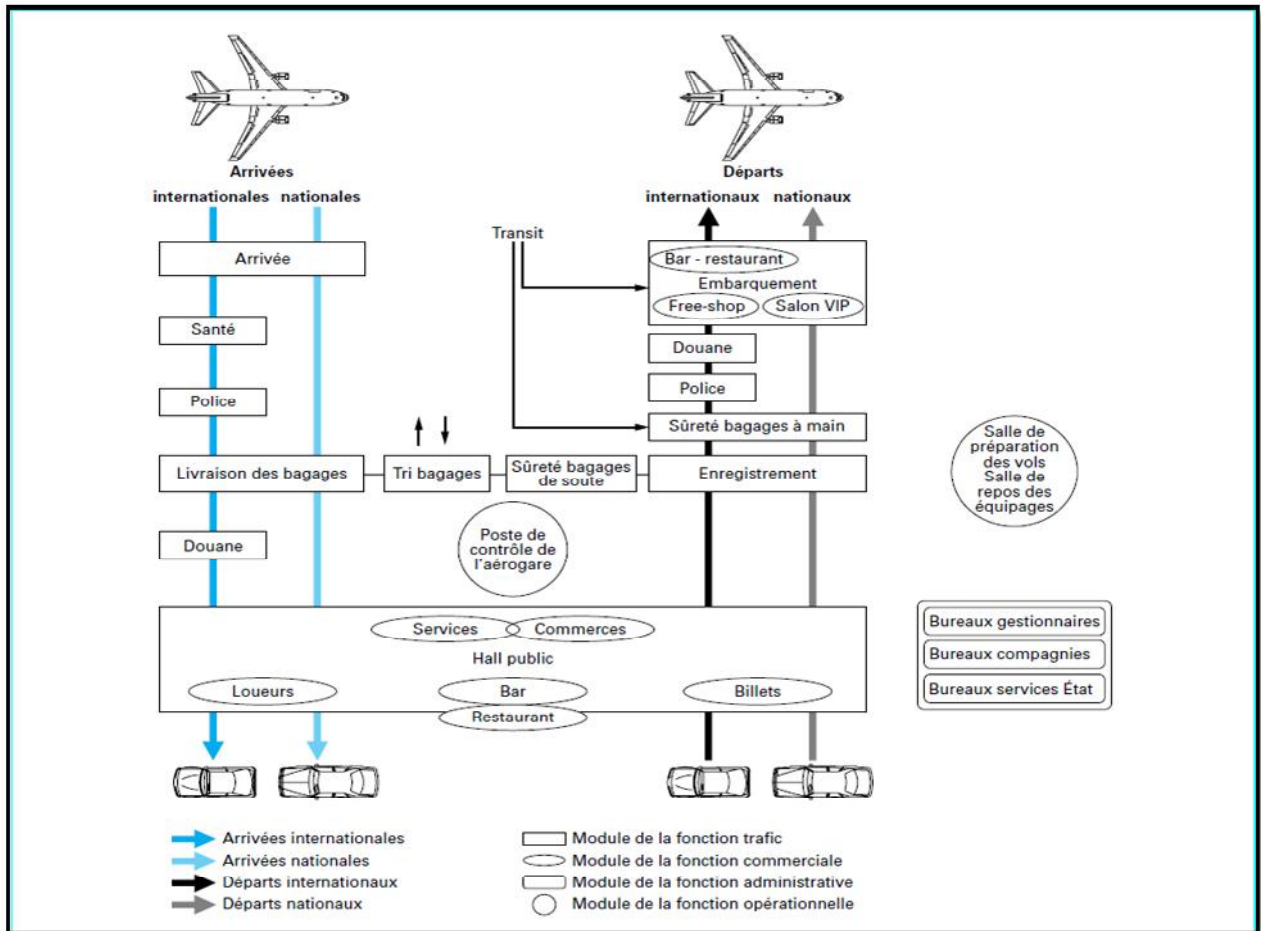


Schéma du principe de fonctionnement d'une aéroport.

❖ Image d'illustration d'une Tour de contrôle :



Une tour de contrôle (vigie + fût) - BREST-GUIPAVAS

Tour de contrôle

## AD 2 AERODROME

## DAUI AD 2.1 INDICATEUR D'EMPLACEMENT ET NOM DE L'AERODROME

DAUI – IN SALAH

## DAUI AD 2.2 DONNEES GEOGRAPHIQUES ET ADMINISTRATIVES RELATIVES A L'AERODROME

1	<b>Coordonnées du point de référence et emplacement de l'aérodrome</b>	271513N 0023039E Aire à signaux
2	<b>Direction et distance de (Ville)</b>	4,3 Nm au Nord Est de la ville
3	<b>Altitude/Température de référence</b>	273 M/45°C
4	<b>Déclinaison magnétique/Variation annuelle</b>	1°W (2005)
5	<b>Administration, adresse, Téléphone, télécopieur, télex, SFA de l'aérodrome</b>	AVA , Aéroport de IN SALAH BP :23 DSA Tel/Fax.: (029) 36 61 03 -(029) 36 61 01 – TWR : (029) 36 61 02 DAUIYDYD
6	<b>Types de trafic autorisés (IFR/VFR)</b>	IFR/VFR
7	<b>Observations</b>	

## DAUI AD 2.3 HEURES DE FONCTIONNEMENT

1	<b>Administration de l'aérodrome</b>	0700/1500
2	<b>Douane et contrôle des personnes</b>	Présence pendant les heures de vol / selon les vols régulier
3	<b>Santé et services sanitaires</b>	Néant
4	<b>Bureau de piste AIS</b>	H24 : avril-octobre, 0600/2000 : novembre-mars (1)
5	<b>Bureau de piste ATS (ARO)</b>	H24 : avril-octobre, 0600/2000 : novembre-mars
6	<b>Bureau de piste MET</b>	H24
7	<b>Services de la circulation aérienne</b>	H24 : avril-octobre, 0600/2000 : novembre-mars (1)
8	<b>Avitaillement en carburant</b>	0600/1800 (1) H24 sur demande
9	<b>Services d'escale</b>	présence pendant les heures de vol
10	<b>Sûreté</b>	H24
11	<b>Dégivrage</b>	Néant
12	<b>Observations</b>	(1) En dehors de ces horaires PN doit être adressé avant 1600 à DAUIYDYD

## DAUI AD 2.4 SERVICES D'ESCALE ET ASSISTANCE

1	<b>Services de manutention du fret</b>	Néant
2	<b>Types de carburant et de lubrifiant</b>	JET A1
3	<b>Services et capacité d'avitaillement en carburant</b>	60m <sup>3</sup> /h
4	<b>Services de dégivrage</b>	Néant
5	<b>Hangars utilisables pour les aéronefs de passage</b>	Néant
6	<b>Services de réparation utilisables pour les aéronefs de passage</b>	Néant
7	<b>Observations</b>	Néant

## DAUI AD 2.5 SERVICES AUX PASSAGERS

1	<b>Hôtels</b>	En ville
2	<b>Restaurants</b>	En ville
3	<b>Moyens de transport</b>	Taxis
4	<b>Services médicaux</b>	En ville
5	<b>Services bancaires et postaux</b>	En ville
6	<b>Services d'information touristique</b>	Néant
7	<b>Observations</b>	Néant

## DAUI AD 2.6 SERVICES DE SAUVETAGE ET DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

1	<b>Catégorie de l'aérodrome pour la lutte contre l'incendie</b>	CAT 6
2	<b>Équipement de sauvetage</b>	Tenue de pénétration, Bouteilles d'air comprimé, Brancards, équipement d'infraction.
3	<b>Moyens d'enlèvement des aéronefs accidentellement immobilisés</b>	Néant
4	<b>Observations</b>	Néant

## DAUI AD 2.7 DISPONIBILITE SAISONNIERE-DENEIGEMENT

1	<b>Types d'équipement</b>	Néant
2	<b>Priorité de déneigement</b>	Néant
3	<b>Observations</b>	Néant

## DAUI AD 2.8 AIRES DE TRAFIC, VOIES DE CIRCULATION ET EMBLEMES DE VERIFICATION

1	<b>Surface et résistance de l'aire de trafic</b>	Surface : 200 m x 100 m Type de surface : Béton bitumineux Résistance : PCN 51 F/B/X/T			
2	<b>Largeur, surface et résistance des voies de circulation</b>	<b>TWY</b>	<b>Largeur</b>	<b>Type de surface</b>	<b>Résistance</b>
			25 M	Béton bitumineux	PCN 51 F/B/X/T
3	<b>Position et altitude des emplacements de vérification des altimètres</b>	Position : THR RWY 05 Altitude : 273 M			
4	<b>Emplacements des points de vérification VOR et INS</b>	VOR : Néant INS : Néant			
5	<b>Observations</b>	Néant			

## DAUI AD 2.9 SYSTEME DE GUIDAGE ET DE CONTRÔLE DES MOUVEMENTS A LA SURFACE ET BALISAGE

1	Panneaux d'identification des postes de stationnement d'aéronef	
	Lignes de guidage TWY	
	système de guidage visuel aux postes de stationnement des aéronefs.	Partiellement.
2	Balisage des RWY et TWY	Feux de bord de RWY, Feux de seuils, Feux d'extrémités de pistes.
	Marquage des RWY et TWY	Marques axiales RWY, Marques latérales RWY, Marques de numéros d'identification RWY, Marques TDZ, Marques des seuils.
3	Barres d'arrêt	Néant
4	Observations	Néant

## DAUI AD 2.10 OBSTACLES D'AERODROME

<i>Aires d'approche et de décollage</i>				
1				
PISTE ou Aire concernée	Type d'obstacles Hauteur Marquage et balisage lumineux			Coordonnées
	Type d'obstacle	Hauteur	Marquage et balisage lumineux	
A	B			C
RWY 05	Buttes et palmiers	5M	non balisés	271510N 0023150E

<i>Aires de manœuvres à vue et aérodrome</i>				Observations
2				3
Type d'obstacles Hauteur Marquage et balisage lumineux			Coordonnées	
Type d'obstacle	Hauteur	Marque et balisage lumineux		
A			B	
Pylônes PRKG	ALT : 291 M	Balisés jour et nuit	271510.05N 0023036E	
Antenne NDB	ALT : 284 M	Balisé de jour	271519.20N 0023045.89E	
(02) Antenne	25 M ALT : 298 M	Balisé de jour	271513.49N 0023034.87E	
TWR	23 M ALT : 296 M	Balisé jour et nuit	271509.30N 0023036.91E	
Antenne VOR/DME	80 M	Balisé de jour	271448.26N 0023009.24E	

## DAUI AD 2.11 RENSEIGNEMENTS METEOROLOGIQUES FOURNIS

1	Centre météorologique associé à l'aérodrome	Station METEOROLOGIQUE DE IN SALAH.
2	Heures de service Centre météorologique responsable en dehors de ces heures	H24
3	Centre responsable de la préparation des TAF et périodes de validité des prévisions	Aérodrome Alger Houari Boumediene 06 heures de validité tout les 3 heures
4	Types de prévisions d'atterrissage disponibles et intervalle de publication	METAR chaque heure et sur demande.
5	Exposés verbaux / Consultations assurés	Néant
6	Documentation de vol et langue (s) utilisée(s) dans cette documentation	Néant
7	Cartes et autres renseignements disponibles pour les exposés verbaux ou la consultation	Néant
8	Equipement complémentaire de renseignement	Téléphone
9	Organes ATS auxquels sont fournis les renseignements	IVR
10	Renseignements supplémentaires (limitation du service, etc.)	Néant

## DAUI AD 2.12 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES PISTES

Numéro de piste	Relèvements		Dimension des RWY (m)	Résistance (PCN) et revêtement des RWY et SWY	Coordonnées du seuil	Altitude du seuil et altitude du point le plus élevé de la TDZ de la piste de précision	
	VRAI	MAG				THR	TDZ
1	2		3	4	5	6	
05	051°	052°	3000 x 45	51 F/B/X/T	271432.24N 0023000.25E	273 M	
23	231°	232°		Béton bitumineux	271533.69N 0023125.09E	269 M	

Pente de RWY- SWY	Dimensions SWY (m)	Dimensions CWY (m)	Dimensions De la bande (m)	Zone dégagée d'obstacle	Observations
7	8	9	10	11	12
-0.8%	100	-	3200 x 300	-	Néant
+0.04%	100	-		-	Néant

## DAUI AD 2.13 DISTANCES DECLAREES

Désignation de la piste	TORA (m)	TODA (m)	ASDA (m)	LDA (m)	Observations
1	2	3	4	5	6
05	3000	3000	3100	3000	Néant
23	3000	3000	3100	3000	Néant

## DAUI AD 2.14 DISPOSITIF LUMINEUX D'APPROCHE ET BALISAGE LUMINEUX DE PISTE

ID RWY	APCH	THR Couleur	PAPI / VASIS	MEHT	TDZ Longueur	Feux d'axe de piste			
						Longueur	Espacement	Couleur	Intensité
05	Simplifiée 420M (2)	Vert	PAPI 3°	-	-	-	-	-	-
23	-	Vert	PAPI 3°	-	-	-	-	-	-
ID RWY	Feux de bord de piste				Feux d'extrémité de piste et WBAR		Feux SWY		(1)
	Longueur	Espacement	Couleur	Intensité	Couleur		Longueur	Couleur	
05	3000 M	30 M	Blanc	LH	Rouge				
23					Rouge				

(1) Observations : Raquette : feux bleus, (2) A titre d'essai

## DAUI AD 2.15 AUTRES DISPOSITIFS LUMINEUX, ALIMENTATION ELECTRIQUE AUXILIAIRE

1	<b>Emplacement, caractéristiques et heures de fonctionnement des phares d'aérodrome / d'identification</b>	271570.66N 0023034.77E ABN : (1é/sec) Vert et Blanc alternés. IBN :
2	<b>Emplacement et éclairage de l'anémomètre/ indicateur de sens d'atterrissage</b>	LLI : Non eclaire
3	<b>Feux de bord TWY. Feux axiaux TWY.</b>	bleus
4	<b>Alimentation électrique auxiliaire/délai de commutation</b>	Deux (02) groupes électrogènes de 400 KVA / 07 secondes.
5	<b>Observations</b>	

## DAUI AD 2.16 AIRE D'ATTERRISSAGE D'HELICOPTERES

1	<b>Coordonnées TLOF ou THR de la FATO</b>	Néant
2	<b>Altitude TLOF / FATO (m/ft)</b>	Néant
3	<b>TLOF+FATO: aire, dimensions, revêtement, résistance, balisage</b>	Néant
4	<b>Relèvements vrai et magnétique de la FATO</b>	Néant
5	<b>Distances déclarées disponibles</b>	Néant
6	<b>Dispositif lumineux d'approche et de FATO</b>	Néant
7	<b>Observations</b>	Néant

**DAUI AD 2.17 ESPACE AERIEN ATS**

1	<b>Désignation et limites latérales</b>	IN SALAH CTR Cercle de 10NM de rayon centré sur 271513N 0023039E
2	<b>Limites verticales</b>	900 M / GND
3	<b>Classification de l'espace aérien</b>	D
4	<b>Indicatif d'appel et langues de l'organe ATS</b>	IN SALAH Tour Fr, En
5	<b>Altitude de transition</b>	1170 M
6	<b>Observations</b>	Néant

**DAUI AD 2.18 INSTALLATIONS DE TELECOMMUNICATION DES SERVICES DE LA CIRCULATION AERIENNE**

<b>Désignation du service</b>	<b>Indicatif d'appel</b>	<b>Fréquences</b>	<b>Heures de fonctionnement</b>	<b>Observations</b>
1	2	3	4	5
TWR	IN SALAH TOUR	118.1 – 119.7 (s)	H24 :avril-octobre 0600/2000 :novembre-mars	Néant
FIS	IN SALAH RADIO	8894	H24 :avril-octobre 0600/2000 :novembre-mars	Néant

**DAUI AD 2.19 AIDES DE RADIONAVIGATION ET D'ATTERRISSAGE**

<b>Type d'aide CAT d'ILS/MLS (pour VOR/ILS/MLS indiquer déclinaison)</b>	<b>Identification</b>	<b>Fréquences</b>	<b>Heures de fonctionnement</b>	<b>Coordonnées de l'emplacement de l'antenne d'émission</b>	<b>Altitude de l'antenne d'émission DME</b>	<b>Observations</b>
1	2	3	4	5	6	7
VOR/DME (1°W 2005)	NSL	113.1 CH 78X	H24	271448.26N 0023009.24E		
NDB	SAH	373	H24	271519.20N 0023045.89E		Portée :120 NM

**DAUI AD 2.20 REGLEMENTS DE CIRCULATION LOCAUX****DAUI AD 2.21 PROCEDURES ANTI-BRUIIS****DAUI AD 2.22 PROCEDURES DE VOL**

Chemins VFR et points de compte rendu obligatoires dans la CTR.

**DAUI AD 2.23 RENSEIGNEMENTS SUPPLEMENTAIRES**

Demi- tour obligatoire sur les raquettes.

**DAUI AD 2.24 CARTES RELATIVES A L'AERODROME**

AD- OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – AD  
 IAC - VOR/DME RWY 05 CAT C/D - OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – IAC1  
 IAC - VOR/DME RWY 05 CAT A/B - OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – IAC2  
 IAC - VOR RWY 05 CAT C/D – OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – IAC3  
 IAC - VOR RWY 05 CAT A/B – OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – IAC4  
 IAC - NDB RWY 05 – OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – IAC5  
 VAC- OACI \_\_\_\_\_ AD 2 DAUI – VAC1

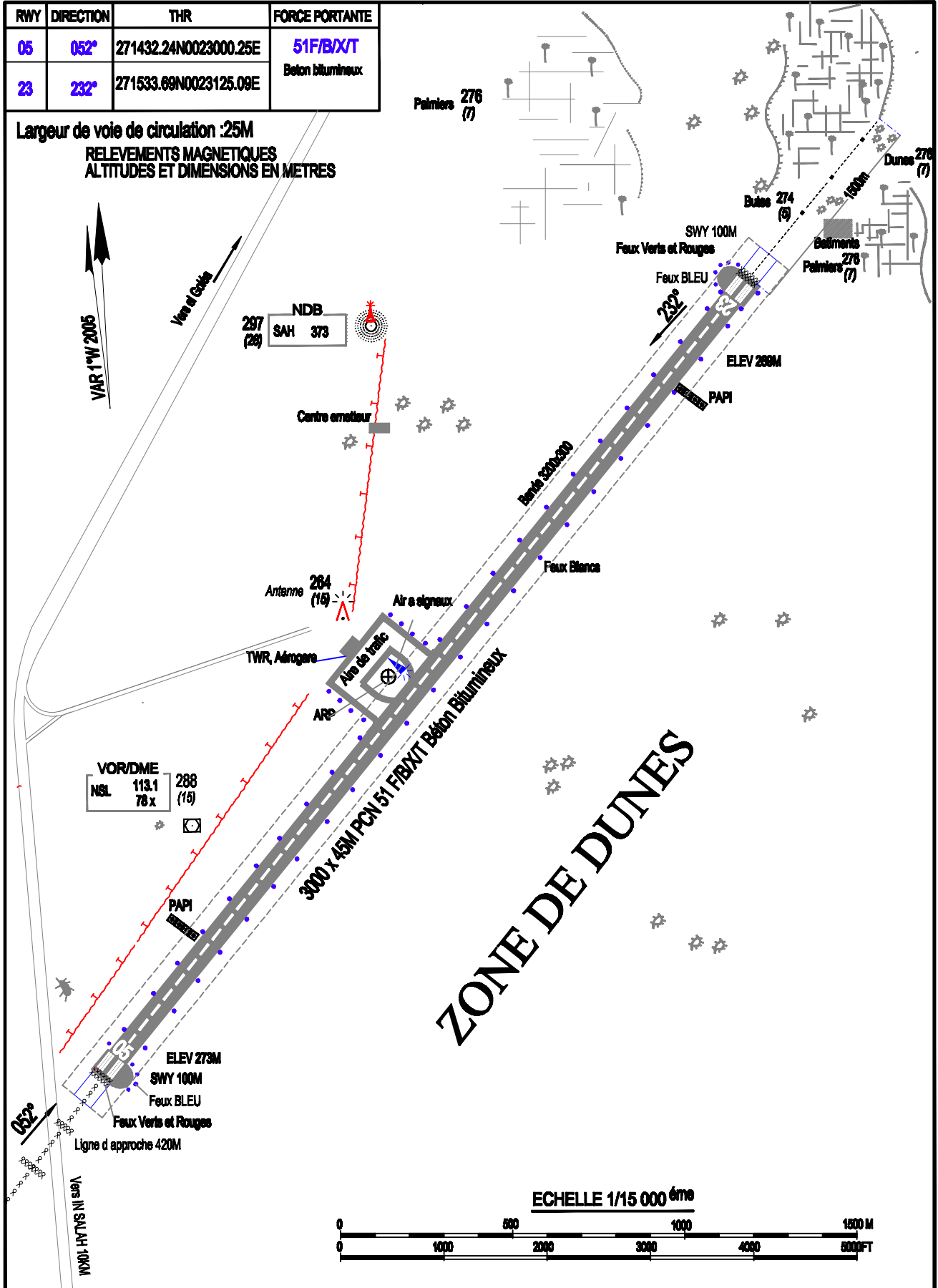
ARP: 271513N  
0023039E  
ALT AD: 273 M

TWR: 118.1  
119.7(s)

CARTE D'AERODROME OACI

RWY	DIRECTION	THR	FORCE PORTANTE
05	052°	271432.24N0023000.25E	51F/B/X/T Béton bitumineux
23	232°	271533.69N0023125.09E	

Largueur de voie de circulation : 25M  
RELEVEMENTS MAGNETIQUES  
ALTITUDES ET DIMENSIONS EN METRES



# Annexe N III.1

## ❖ Plan de creusement des Puits :



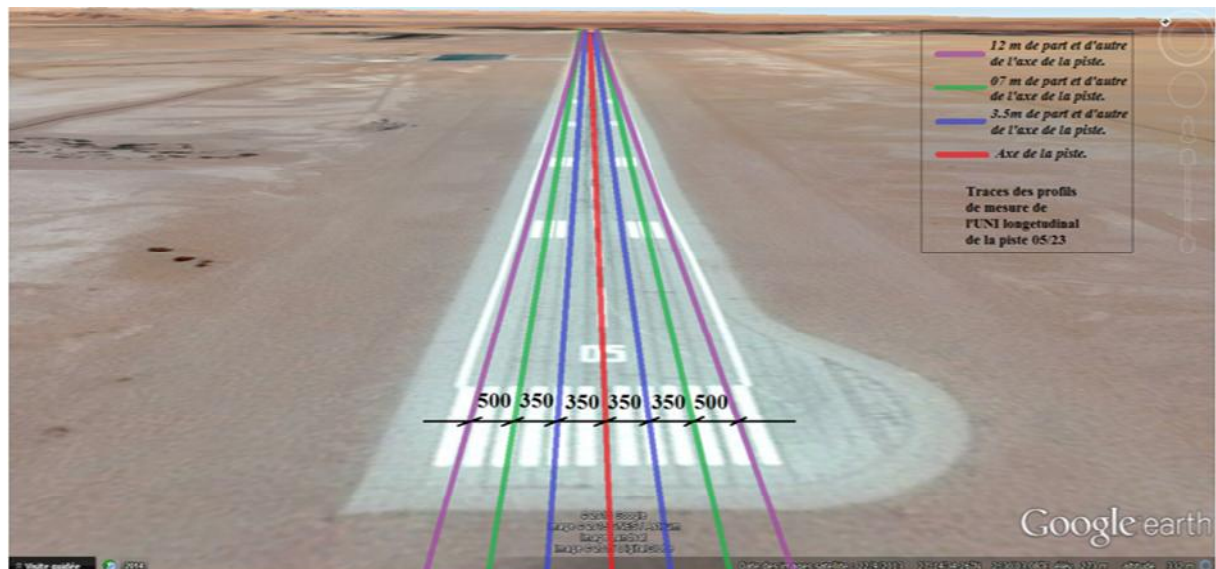
## Annexe N III.2

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

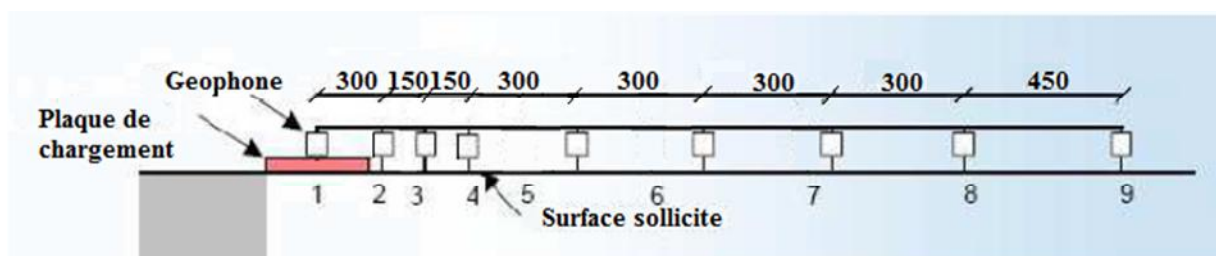
Les intervalles de mesure au niveau de chaque profil et le nombre des points de mesure relatifs sont donnés dans le tableau suivant :

Profils	Position	Intervalle de	Points de mesure
Profil Axe	Axe central de la piste	30 ml	101 points
Profil 3.5d	3.5 ml A droite de l'axe central de la piste	30 ml	101 points
Profil 3.5g	3.5 ml A gauche de l'axe central de la	30 ml	101 points
Profil 7d	7 ml A droite de l'axe central de la piste	60 ml	51 points
Profil 7g	7 ml A gauche de l'axe central de la	60 ml	51 points
Profil 12d	12 ml A droite de l'axe central de la piste	120 ml	26 points
Profil 12g	12 ml A gauche de l'axe central de la	120 ml	26 points
<b>TOTAL</b>		<b>457 Points de mesure</b>	
Park 01		30 ml	07 points
Park 02		30 ml	07 points
Park 03		30 ml	07 points
<b>TOTAL</b>		<b>21 Points de mesure</b>	

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



### ❖ Disposition des géophones par rapport à la plaque de chargement :



## Annexe N III.3

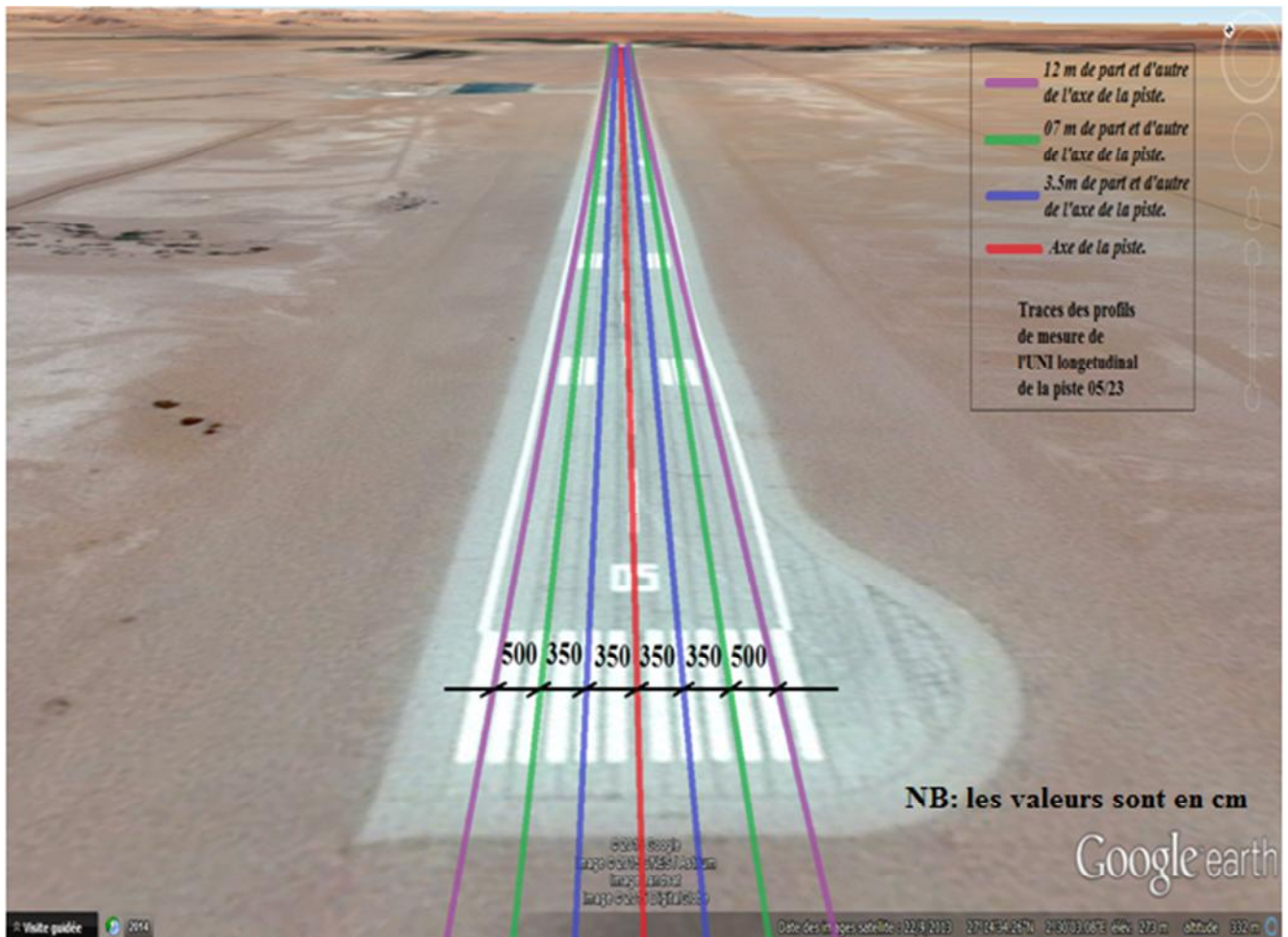
### ❖ Plan d'intervention de mesure de l'UNI :

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

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

### Positions des profils de mesure de L'UNI.

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



## Annexe N III.3

### ❖ Tableau des caractéristiques minimales de l'uni d'une piste :

Tableau 5 - Caractéristiques minimales de l'uni d'une piste						
Exigences	Longueurs d'onde	Note minimale (de 1 à 10)	Résultats enregistrés			
			Pourcentage de tronçon présentant la note minimale			
			Chaussées neuves $L < 2000$ m	Chaussées neuves $L \geq 2000$ m	Chaussées après travaux d'entretien en plusieurs couches	Chaussées après travaux d'entretien en une couche
Exigences globales sur l'ensemble des notes de tous les profils	Petites ondes	4	100 %		100 %	
		6	95 %		maintien de l'existant <sup>(1)</sup>	
		7	80 %			
	Moyennes ondes	5	100 %		maintien de l'existant <sup>(1)</sup>	
		8	80 %			
	Grandes ondes	7	100 %	100 %	maintien de l'existant <sup>(1)</sup>	
		10	80 %	90 %		
Exigences profil par profil pour trois paires de profils centrales	Petites ondes	4			100 %	
		6	100 %		maintien de l'existant <sup>(1)</sup>	
		7	90 %			
	Moyennes ondes	6	100 %		maintien de l'existant <sup>(1)</sup>	
		8	90 %			
	Grandes ondes	8	100 %	100 %	maintien de l'existant <sup>(1)</sup>	
		10	80 %	90 %		

(1) Maintien de l'existant : note moyenne après travaux  $\geq$  note moyenne avant travaux, et, note minimale après travaux  $\geq$  note minimale avant travaux.

## Annexe N III.4

---

### ❖ **ESSAI DE MESURE DE L'ADHERENCE :**

La présente annexe a pour but de détaillé l'essai d'Adhérence, son principe et le Matériel utilisé ;

#### ❖ **Définition de l'essai :**

L'Adhérence est la capacité des pneumatiques a collé a la surface de la chaussée, de la piste (Dans notre cas), cette caractéristique se traduit par un coefficient de frottement Pneus-chaussée qui doit être adapté pour le bon comportement des aéronefs a la surface de cette piste.

L'adhérence des Pneumatiques a la piste est essentielle pour :

- Le freinage à l'atterrissage ou en cas de décollage interrompu,
- La mise en rotation des roues, ou lors de l'atterrissage,
- Le contrôle au roulage de la direction, notamment en présence de vents traversiers, ou en cas de fonctionnement asymétrique des moteurs (aussi bien au décollage qu'à l'atterrissage avec la poussée des moteurs inversée) ou encore à l'amorce d'une sortie rapide de piste.

#### ❖ **Particularités de l'Adhérence dans les chaussées aéronautiques :**

Bien que le principe d'adhérence pneus – chaussées s'apparente à celui pris en considération dans le domaine routier, les particularités aéronautiques proviennent principalement de :

- La vitesse élevée à l'atterrissage et au décollage, 280 km/h et même plus.
- L'importance de la masse déplacée.
- L'absence de sculptures sur les pneumatiques (rainures circulaires seulement), et la leurs pression de gonflage élevée.

#### ❖ **Causes de pertes d'adhérence:**

Les principales causes de pertes d'adhérences sont :

- Présence d'eau sur la piste (Mauvais drainage, induit l'aquaplanage).
- Pollution de la chaussée (Mousse, Boue, Gomme...etc).
- Nature des granulats et du liant.

#### ❖ **Principe de mesure de l'adhérence :**

La mesure qui permet le mieux d'apprécier l'adhérence des avions sur une chaussée dans des conditions données est celle du coefficient de frottement longitudinal.

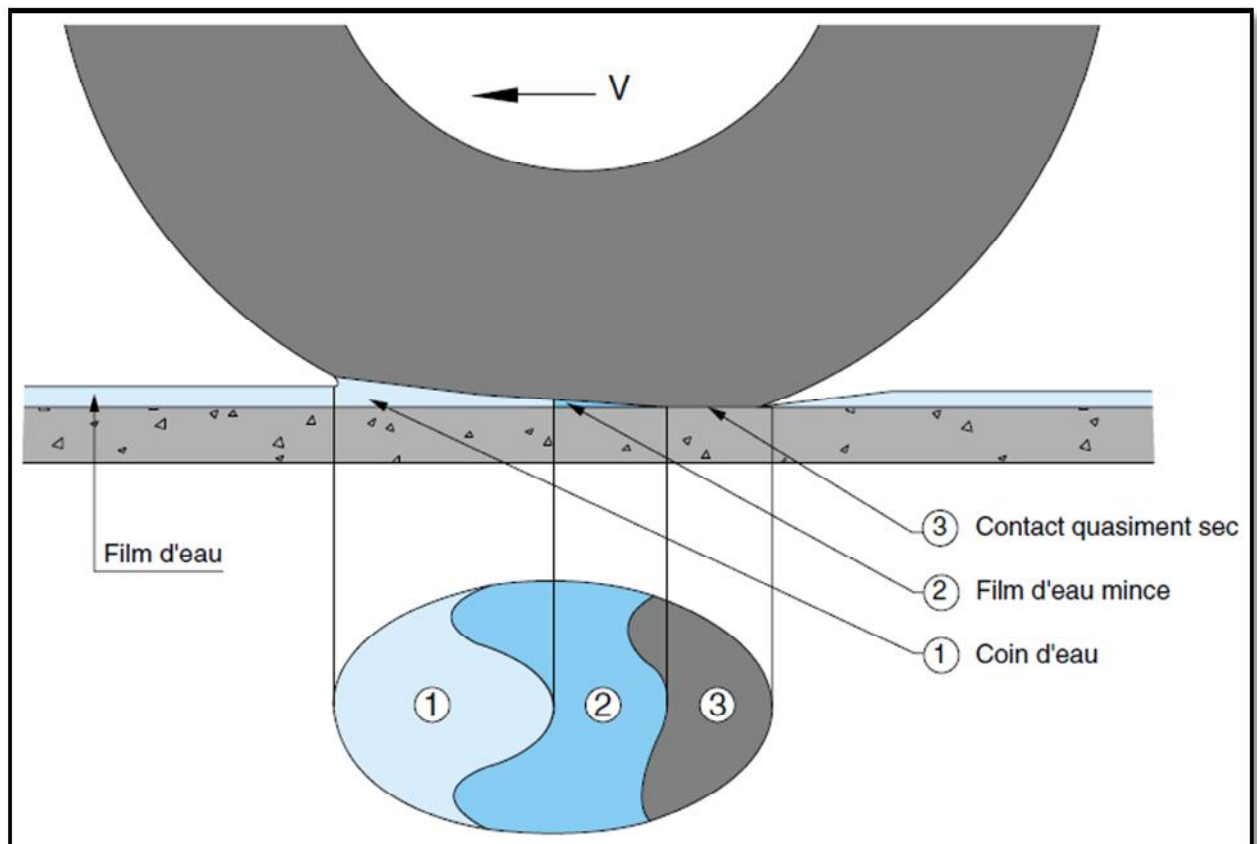
## Annexe N III.4

Invitant les États membres à doter leurs services nationaux de moyens permettant de contrôler l'adhérence des revêtements de piste, l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale leur recommandait :

- L'auto mouillage de la chaussée à une épaisseur constante (par exemple 1mm),
- Le choix d'une vitesse d'essai aussi élevée que possible (supérieure à 100km/h),
- La mise en œuvre d'un taux de glissement représentatif (compris entre 5 et 20%) de l'existence de dispositifs anti-bloquants sur les roues d'avion.

Le procédé de mesure consiste à freiner la roue de mesure afin de lui imposer un taux de glissement constant, à vitesse stabilisée du véhicule tracteur. La mesure en continu du couple de freinage et de la charge appliquée à la roue de mesure permet une conversion automatique en coefficient de frottement. L'adhérence est estimée acceptable, lorsque, selon la vitesse de déplacement de l'I.M.A.G, le coefficient de frottement longitudinal se situe entre **0,6 et 0,7** à **40 km/h** et entre **0,30 et 0,40** à **120 km/h**.

La figure suivante illustre le principe du frottement pneu-chaussée mouillée :



Caractéristiques de contact Pneus-Chaussée Mouillée.

## Annexe N III.4

---

### ❖ Matériels utilisés :

Faisant l'objet d'un brevet détenu conjointement par le S.T.B.A, et L'Aéroports de Paris, l'Instrument de Mesure Automatique de Glissance (I.M.A.G.) répond parfaitement aux recommandations de l'O.A.C.I.

L'I.M.A.G se présente sous la forme d'une remorque tractée constituée :

- D'un châssis à deux roues porteuses supportant :
- Un bras articulé équipé d'une roue de mesure,
- Une roue de référence permettant de mesurer la vitesse,
- Un module électronique et un micro-ordinateur permettant le contrôle et l'exécution du processus d'essai,
- Un système électronique intégré de contrôle du système hydraulique de freinage de la roue de mesure,
- D'un véhicule tracteur gérant notamment le système de mouillage.



Photo d'un Instrument de Mesure Automatique de Glissance.

### ❖ Expression des résultats :

- CFL : Coefficient de frottement Longitudinal, a différentes vitesses d'essai.
- Coefficient sans dimension généralement entre 0 et 1.
- Graphique des CFL en fonction de la distance parcourue pour chaque vitesse d'essai retenue.

### ❖ Documents de référence :

- NF P 98 220-2.
- Méthode d'essai LPC n 50 Version 2.0
- Annexe 14 OACI, Arrêté TAC du 10 Juillet 2006.

## Annexe N IV.1

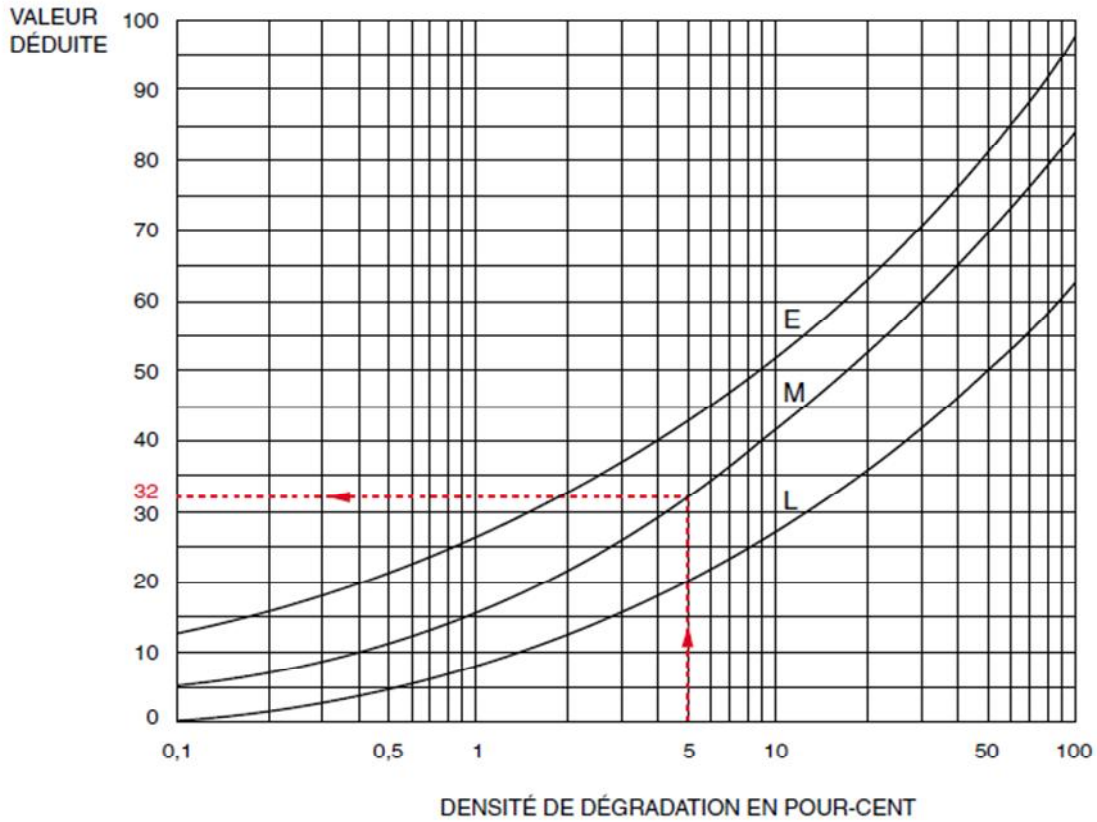
❖ **Tableau donnent les différentes dégradations, la chaussée qu'elles affectent, et leurs CODE IS :**

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

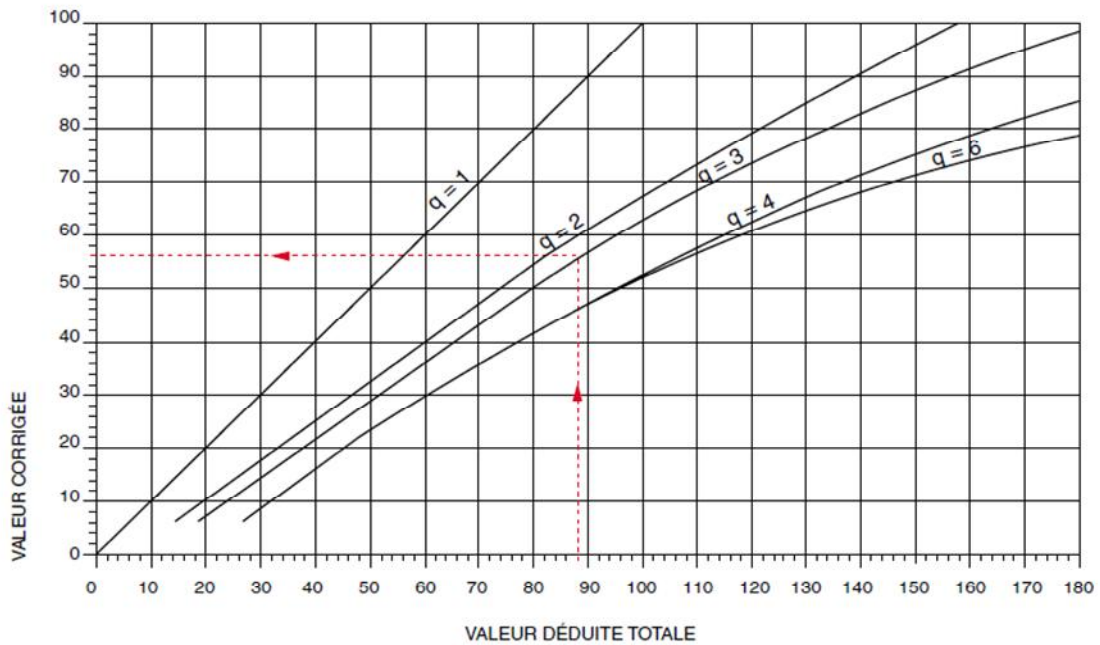
**Codes Is des dégradations.**

## Annexe N IV.1

- ❖ Les abaques suivants servent au calcul des Valeurs Déduites des dégradations, ainsi que des Valeurs Déduites Totales Corrigées :



Abaque de la Valeur Déduite d'une dégradation.



Abaque de la Valeur Déduite Totale Corrigée pour une maille (cas chaussée souple).

## Annexe N IV.1

Le catalogue des dégradations permet, au moment du relevé, de faire la distinction correspondant aux deux colonnes du tableau ci-après :

Type de chaussées	Dégradations révélant un défaut de structure	Dégradations révélant un défaut de surface
<b>Chaussée souple</b>	Flache Ornière Fissure de fatigue Faïençage de fatigue Déformation en W Gonflement Tassement différentiel Remontée d'eau Remontée de fines	Désenrobage- Brûlure Enrobé poreux Fissure de joint Fissure de retrait Faïençage de retrait Réparation dégradée Contamination Dépôt de gomme Poinçonnement Ressuage Fissure parabolique Nid de poule Pelade
<b>Chaussée rigide</b>	Fissure Fracture Fissure en coin Pompage Décalage-Marche	Epaufre Faïençage-Ecaillage Réparation ponctuelle Dégradée Défaut de joint Dépôt de gomme

Tableau de classification des dégradations suivant le catalogue du STBA.

## Annexe N V.1

### ❖ Résultats de la durée de vie, et des épaisseurs moyennes obtenus grâce au HWD :

L'évaluation a été faite avec le logiciel ELMOD 6 dont les résultats sont les suivant :

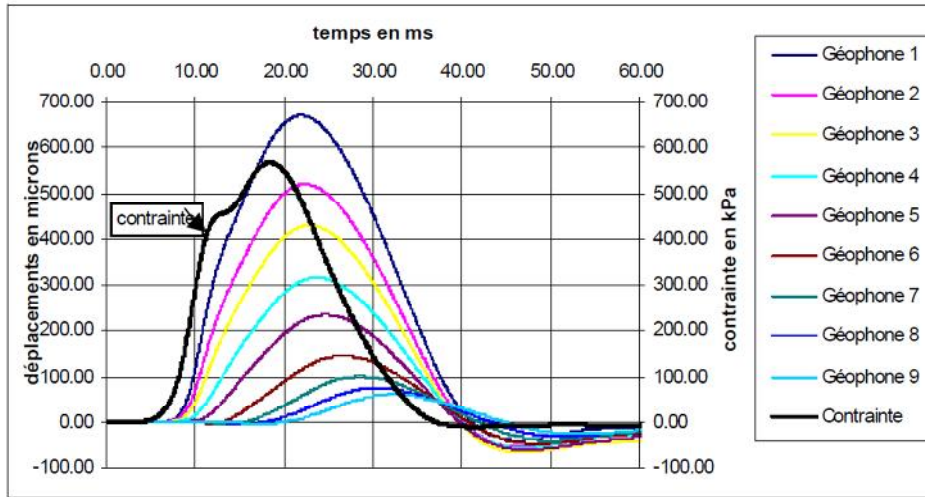
Profils	Nbre de stations	Traffic 10 m/j	Renforcement en (mm)
		« D » Durée de vie moyenne (ans)	
Axe de la piste	101 points	D = 2.8 Ans	189
3.5ml A droite de l'axe central de la piste	101 points	D = 3.4Ans	172
3.5ml A gauche de l'axe central de la piste	101 points	D = 4.3Ans	153
7ml A droite de l'axe central de la piste	51 points	D = 2.2 Ans	216
7ml A gauche de l'axe central de la piste	51 points	D = 3.2Ans	188
12ml A droite de l'axe central de la piste	26 points	D = 2.3 Ans	210
12ml A gauche de l'axe central de la piste	26 points	D = 5.5Ans	132
moyenne		3.3ans	180
Park01	07 points	D = 1.8Ans	224
Park02	07 points	D = 3.6Ans	165
Park03	07 points	D = 4.5Ans	159
Moyenne		3.3ans	183

Le renforcement moyen obtenu par le logiciel pour la piste et le parking est :

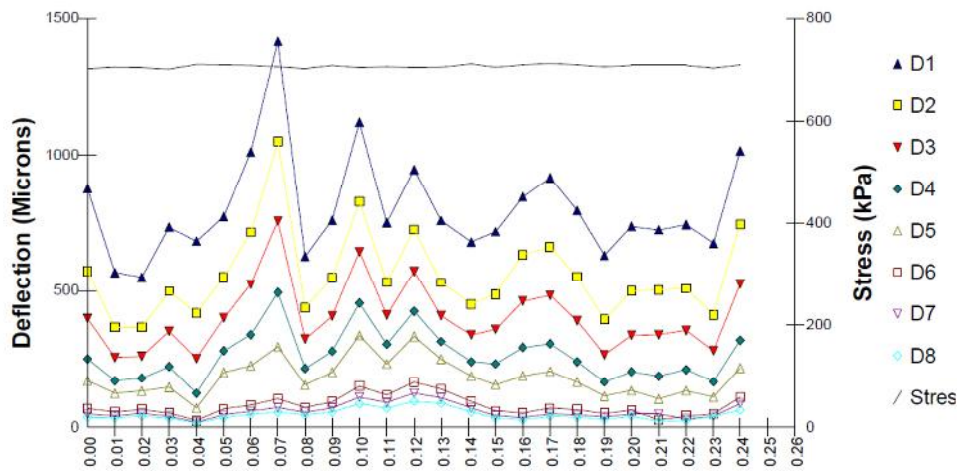
- Fraisage de la couche de roulement sur 06cm.
- Renforcement par une couche bitumineuse de **18 cm (GB 10cm + BB 08cm)**, pour une durée de vie moyenne de **3,3 ans**.

Ses résultats ont été obtenus après un traitement numérique des déflexions mesurées grâce au HWD, et qui ont fait ressortir différentes courbes, **que nous n'avons pas pu obtenir**, et dont voici des exemples :

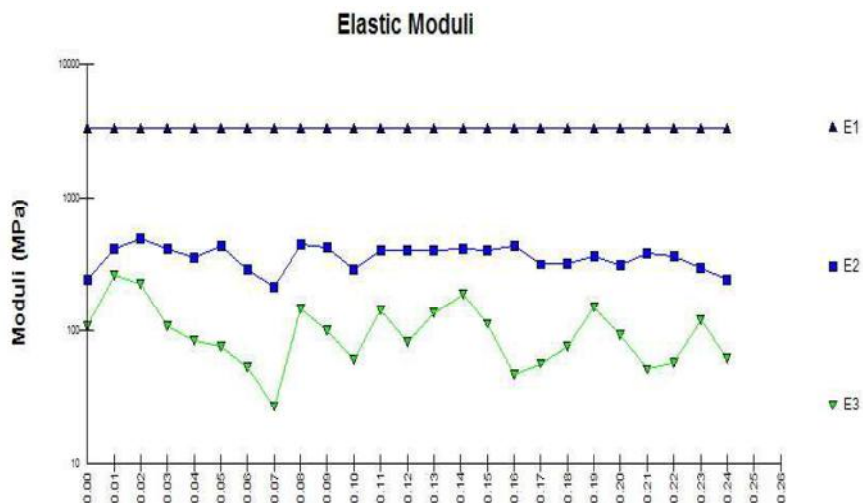
# Annexe N V.1



Exemple d'une courbe d'un bassin de déflexion.



Ex Courbe représentant toutes les déflexions sur l'ensemble d'un tracée.



Ex Courbe représentant les modules des couches du corps de chaussée sur l'ensemble d'un tracée.

## Annexe N VI.1

---

❖ Rapport extrait du logiciel CIVIL 3D relatif à la distance de visibilité du projet tracé géométrique :

Date, 2015-05-23, time, 8:47:21, unit,

Eye Path Alignment, Alignment - axe piste, Eye Path Profile, Piste

Eye Offset, 0, Eye Height, 3, Object Offset, 0, Object Height, 3

Surfaces, surface aero

Station, Actual Sight Distance, Minimum Sight Distance, Obstruction Point, Violated?

0+000.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+420.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+020.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+440.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+040.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+460.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+060.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+480.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+080.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+500.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+100.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+520.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+120.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+540.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+140.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+560.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+160.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+580.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+180.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+600.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+200.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+620.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+220.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+640.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+240.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+660.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+260.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+680.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+280.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+700.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+300.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+720.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+320.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+740.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+340.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+760.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+360.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+780.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+380.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+800.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+400.00m,1500.000m,1500.000m,,No	0+820.00m,1500.000m,1500.000m,,No

## Annexe N VI.1

---

0+840.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+420.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+860.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+440.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+880.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+460.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+900.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+480.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+920.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+500.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+940.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+520.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+960.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+540.00m,1500.000m,1500.000m,,No
0+980.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+560.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+000.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+580.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+020.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+600.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+040.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+620.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+060.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+640.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+080.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+660.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+100.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+680.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+120.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+700.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+140.00m,1500.000m,1500.000m,,No	1+720.00m,1500.000m,1500.000m,,No
1+160.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+180.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+200.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+220.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+240.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+260.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+280.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+300.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+320.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+340.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+360.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+380.00m,1500.000m,1500.000m,,No	
1+400.00m,1500.000m,1500.000m,,No	