

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



المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics
National School of Built and Ground Works Engineering
Francis Jeanson

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat

Filière : Travaux Publics

Spécialité : Infrastructures de Base

Thème

**RENFORCEMENT DE L'AERODROME
DE HASSI R'MEL**

Présenté par :

FENNANE Amine
RERIZANI Mohamed Réda

Encadré par :

Mme KHOUAS Zohra

Promotion 2017/2018

REMERECIMENTS

En premier lieu, on remercie le bon dieu. Le clément et le miséricordieux de nous avoir accordé des connaissances de la science, la force ainsi que le courage de mener à bien ce modeste travail.

On tient à adresser nos plus vifs et sincères remerciements à toutes les personnes qui de près ou de loin ont par leur présence, leurs compétences et leurs commentaires, contribués à l'élaboration et à la bonne conduite de ce mémoire.

On remercie vivement notre encadreur Mme KHAOUAS, pour sa disponibilité permanente, sa générosité de donner tout ce qu'elle a comme savoir et toute l'attention qu'elle a accordé à notre travail.

Merci à Monsieur SIDALI chef de département d'infrastructures aéroportuaires de la SAETI, Monsieur LOUNISSI et Monsieur ADJLANE de nous avoir accordés de leur temps et répondu à nos questions et aussi à l'ingénieur GUEDOUH qui nous a accompagnés tout au long de notre travail.

On adresse également toute notre gratitude à l'ensemble des employés de l'ENNA et de SONATACH qui ont partagé leurs temps et leurs connaissances avec nous et collaboré au bon déroulement de notre stage au niveau de HASSI R'MEL en particuliers : Monsieur BENYOUUB, Monsieur MADANI, Monsieur IDIR et Monsieur ABDELKRIM.

Enfin, on n'oublie pas nos enseignants et professeurs qui nous ont fait suivi tout au long de notre parcours universitaire, qui grâce à leur rigueur scientifique et simplicité nous ont toujours poussé vers le meilleur.

RESUME

L'objectif de ce travail, qui s'intitule « Renforcement de l'aérodrome de Hassi R'mel » consiste à faire face aux dégradations dû au vieillissement de la chaussée, gradient thermique et au développement du trafic aérien.

L'élaboration et l'exécution des techniques de renforcement des chaussées aéronautiques nous ont guidé à opter pour la solution optimale à savoir : la substitution et le remplacement de la couche de roulement existante par une autre plus épaisse pour faire face aux dégradations.

Une mise en norme selon le règlement international l'OACI a été effectuée sur l'aérodrome de Hassi R'mel à savoir : la création d'une bande de piste, bretelle, parking, Prolongement de d'arrêt et l'aire de sécurité d'extrémité de piste.

Mot clés : Aérodrome, chaussée aéronautique, gradient thermique, dégradation

ABSTRACT

The objective of this work, which is entitled " Compliance of the areas of laborers(operations) of Hassi R' mel's aerodrome " consists in facing the damages owed to the ageing of the road, the thermal gradient and in the development of the air traffic.

The elaboration and the execution of the techniques of strengthening of the aeronautical roads guided us to opt for the optimal solution namely: replacing the existing wearing course with a thicker one to cope with the damage.

A putting in standard according to the international regulation(payment) the ICAO was made on Hassi R' mel's aerodrome namely: the creation of a band(strip) of track(runway), strap, parking lot, Continuation of stop(ruling) and the area of safety(security) of extremity of track(runway).

Keywords: aerodrome, put aeronautics, thermal gradient, degradation

ملخص

ان الهدف الرئيسي من هذا العمل الذي هو تحت عنوان " تقوية المنشآت المطارية لمطار حاسي رمل " هو مواجهة تدهور المدرجات المطرية الذي كان سببه الفاعل الحراري وتطور حركات المرور الجوية.

كما ان اعدادات وتنفيذ تقنيات تقوية المنشآت المطرية وجهتنا الى اختيار الحل الامثل الذي هو: استبدال طبقة المتداول ما بكثر سمكا للتعامل مع الضرر

تم تطبيق المعايير حسب القوانين الدولية لمنظمة الطيران المدنية الدول OACI على مطار حاسي الرمل وانشاء شريط المسار، الاقواس، موقف، الى جانب تطويل المواقع ومساحة الامن عند نهاية شريط المسار.

كلمات مفتاحية: المطار، مدرجات المطرية، عامل حراري، تدهور.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE N °01

CHAPITRE

<u>I. Notion sur les aérodromes.....</u>	1
I.1. Introduction.....	1
I.2. Généralité sur les aérodromes	1
I.3. Classification des aérodromes.....	3
I.4. Les caractéristiques physiques des constituant de l'aire de mouvement selon le code de référence	4
I.5. Normes applicables aux aérodromes	7
I.6. Conclusion	7
<u>II. Dégradation des chaussées aéronautiques souples.....</u>	8
II.1. Introduction	8
II.2. Structure de chaussée souple	8
II.3. Les dégradations.....	9
II.4. Facteur influant sur les dégradations des chaussées.....	12
II.5. Conclusion.....	12
<u>III. Auscultation des chaussées aéronautiques.....</u>	13
III.1. Introduction.....	13
III.2. Suivi et auscultation des chaussées aéronautiques	13
III.3. Conclusion	19
<u>IV. Dimensionnement et calcul des charges admissibles.....</u>	20
IV.1. Introduction.....	20
IV.2. Méthodes de dimensionnement du corps de chaussée	20
IV.3. Dimensionnement des chaussées souples avec la méthode forfaitaire	20
IV.4. Moyens d'évaluation pour déterminer la portance des chaussées aéroportuaires.....	22
IV.5. Conclusion	25
<u>V. Renforcement des chaussées aéronautiques.....</u>	26
V.1. Introduction.....	26
V.2. L'entretien des chaussées aéronautiques souples	26
V.3. Le renforcement des chaussées aéronautiques souples	26
V.4. Les caractéristiques des matériaux de renforcement	29
V.5. Choix de la variante de renforcement	29

V.1. Conclusion.....	30
<u>I. Présentation du projet.....</u>	<u>32</u>
I.1. Introduction.....	32
I.2. Situation générale.....	32
I.3. Cadre géologique régional.....	32
I.4. La topographie régionale.....	33
I.5. Présentation de l'aérodrome de Hassi R'mel.....	33
I.6. L'historique de l'aérodrome de HASSI R'MEL.....	33
I.7. Géométrie de l'aérodrome :.....	34
I.8. Climatologie du site.....	34
I.9. Activité sismique.....	36
I.10. Evolution du trafic aérien.....	36
I.11. Conclusion.....	37
<u>II. Etude géotechnique.....</u>	<u>38</u>
II.1. Introduction :.....	38
II.2. La reconnaissance géologique du sol.....	38
II.3. Caractéristiques géotechniques des couches composent le sol support.....	39
II.4. Diagnostic du corps de chaussée existant.....	40
II.5. Conclusion.....	43
<u>III. Auscultation de l'aérodrome de HASSI R'MEL.....</u>	<u>44</u>
III.1. Auscultation visuelle.....	44
III.2. Vérification de l'uni :.....	46
III.3. Analyse de la structure de l'aérodrome au HWD.....	47
III.4. Estimation de la durée de vie et des couches de l'aérodrome.....	48
III.1. Conclusion.....	49
<u>IV. Dimensionnement de l'aérodrome de HASSI R'MEL.....</u>	<u>50</u>
IV.1. Introduction :.....	50
IV.2. L'avion de référence de l'aérodrome.....	50
IV.3. Dimensionnement du corps de chaussée avec la méthode forfaitaire.....	51
IV.4. Proposition d'épaisseur réelles d'une chaussée neuve.....	54
IV.5. Proposition d'épaisseur réelles de renforcement.....	55
IV.6. Calcule des charges admissibles (méthode ACN/PCN) :.....	56
IV.7. Conclusion :.....	57
<u>V. Proposition des variantes.....</u>	<u>58</u>
V.1. Introduction.....	58

V.2. Proposition des solutions.....	58
V.3. Analyse multi critères des variantes proposés.....	60
V.4. Choix de la variante.....	63
V.5. Conclusion.....	63
<u>VI. Conception et étude géométrique.....</u>	64
VI.1. Introduction.....	64
VI.2. Caractéristiques géométriques de l'aérodrome TILGHEM.....	64
VI.3. La mise en norme de l'aérodrome TILGHEM.....	65
VI.4. Conclusion.....	67
<u>VII. Assainissement.....</u>	68
VII.1. Introduction.....	68
VII.2. Assainissement des eaux pluviales.....	68
VII.3. Drainage des eaux souterraines.....	69
VII.4. Conséquence d'un réseau d'assainissement mal conçu.....	69
VII.5. Assainissement de l'aérodrome TILGHEM.....	69
VII.6. Conclusion.....	70
<u>VIII. Balisage et signalisation.....</u>	71
VIII.1. Introduction.....	71
VIII.2. Balisage et signalisation de jour.....	71
VIII.3. Balisage et signalisation de nuit.....	73
VIII.4. L'usure et entretien des marques.....	75
VIII.5. Conclusion.....	75
<u>IX. Métré.....</u>	76
IX.1. Calcul des surfaces.....	76
IX.2. Calcul des volumes.....	76
IX.3. Quantités des matériaux.....	77
IX.4. Devis quantitatif et estimatif.....	79
CONCLUSION GENERALE.....

LISTE DES FIGURES

PARTIE N°01

Figure I.1 image satellitale de l'aérodrome d'Alger	1
Figure I.2 Eléments constitutifs d'une aire de mouvement	2
Figure II.1 Structure d'une chaussée	9
Figure III.1 Organigramme des indicateurs d'état	13
Figure III.2 Exemple de courbe de valeurs déduites (Flache)	15
Figure III.3 Abaque apportant correction à la valeur déduite (q étant le nombre dégradations significatives sur la maille considérée)	15
Figure III.4 Appareil de vérification de l'uni	16
Figure III.5 Remorque de portance du STAC	17
Figure III.6 Essais du HWD	18
Figure III.7 Appareil HWD	18
Figure V.1 Echantillon et mise en place de géotextile	28

PARTIE N°2

Figure I.1 Situation géographique de Hassi R'mel	32
Figure I.2 Géométrie de l'aérodrome de TILGHEM	34
Figure I.3 Présentation de la température moyenne annuelle (en C°)	35
Figure I.4 vents annuel moyen durant la période (2011-2017)	35
Figure I.5 Cumul des précipitations annuels durant la période 2011-2017	36
Figure I.6 Evolution du trafic Boeing 737-800 durant la période 2013-2017	37
Figure III.1 Fissures longitudinales et transversales	44
Figure III.2 Faiençages	44
Figure III.4 Enrobé poreux	45
Figure III.5 Départ de matériaux	45
Figure III.6 Colmatage des fissurations existantes	45
Figure III.7 Positions des profils	46
Figure IV.1 Boeing 737-800	50
Figure IV.2 Abaque pour déterminer la catégorie du CBR	57
Figure VIII.1 Manche à vent	71
Figure VIII.2 indicateur de direction d'atterrissage	72

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE N°1

Tableau I.1 Code de référence associés aux différents types d'aérodromes.....	4
Tableau I.2 Largeur d'une piste en fonction des codes de référence.....	4
Tableau I.3 Largeur d'une bande de piste en fonction des codes de référence	6
Tableau III.1 Niveau de service en fonction de l'indice de service.....	14
Tableau IV.1 Coefficient d'équivalence de chaque matériau	23
Tableau IV.2 Type de chaussée et lettre correspondant.....	24
Tableau IV.3 catégories de résistance du terrain de fondation.....	24
Tableau IV.4 catégories de résistance de pression des pneus	25
Tableau IV.5 Méthode d'évaluation.....	25

PARTIE N°02

Tableau II.1 Compagne de sondage	38
Tableau II.2 Les caractéristiques de l'encroûtement calcaire	39
Tableau II.3 Compagne de carottage sur la piste.....	40
Tableau II.4 Essais effectués sur les matériaux la gîte n°01.....	41
Tableau II.5 Essais effectués sur les matériaux la gîte n°01.....	42
Tableau II.6 Résultats des essais effectués sur les deux carrières du sable 0/3	43
Tableau II.7 Résultats des essais effectués sur les deux carrières du gravier.....	43
Tableau III.1 Positions des profils.....	46
Tableau III.2 Valeurs moyennes IRI	47
Tableau III.3 Positions des profils de l'analyse de HWD	47
Tableau III.4 Récapitulatif de l'estimation de la durée de vie de la piste (Durée de vie)	49
Tableau IV. 1 Charge normale de calcul pour chaque aire	52
Tableau IV. 2 Épaisseur équivalente pour chaque aire.....	52
Tableau IV. 3 Épaisseur équivalente minimales des matériaux traités pour chaque aire.....	53
Tableau IV.4 Coefficients d'équivalence pour le béton bitumineux (BB)	53
Tableau IV.5 Coefficients d'équivalence pour la grave bitume (GB)	53
Tableau IV.6 Épaisseur équivalentes des chaussées existantes	54
Tableau IV.7 épaisseurs réelles pour la méthode direct.....	54
Tableau IV.8 Épaisseur réelle des aires après un fraisage de 8 cm de BB	55

Tableau IV.9 ACN min et max du Boeing 737-800 selon l'OACI.....	56
Tableau V.1 devis estimatif du renforcement direct.....	60
Tableau V.2 Volume à décaper pour la variante classique	61
Tableau V.3 devis estimatif du renforcement de la variante classique.....	61
Tableau V. 4 Estimation du cout de la variante synthétique	61
Tableau V. 5 Analyse multicritère.....	62
Tableau VI .1 Caractéristiques géométriques de la piste principale de l'aérodrome de TILGHEMT	64
Tableau VI .2 Caractéristiques géométriques de la bretelle.....	64
Tableau VI .3 Caractéristiques géométriques de l'aire de stationnement.....	65
Tableau VI .4 Calcul de la charge normale.....	66
Tableau VI .5 Calcul de l'épaisseur de la chaussée	67
Tableau VI .6 Epaisseur équivalente minimale des matériaux traités	67
Tableau VI .7 Epaisseur réelles du corps de chaussée.....	67
Tableau VIII. 1 Feux de piste	74
Tableau IX.1 Calcul des surfaces des chaussées.	76
Tableau IX.2 Calcul des surfaces des accotements	76
Tableau IX .3. Volume à fraiser	76
Tableau IX .4 Volume déblai /remblai.....	77
Tableau IX .5 Volume de GB nécessaire.	77
Tableau IX .6 Volume de BB nécessaire.	77
Tableau IX.7. Volume de tuf	78
Tableau X.8 Devis quantitatif et estimatif	79

INTRODUCTION GENERALE

Dans le processus de mondialisation de l'économie, les transports jouent un rôle primordial. La globalisation et l'intensification des échanges internationaux sont favorisés par les évolutions techniques des transports telle que l'augmentation de la rapidité et la capacité du transport aérien.

L'Algérie dont la superficie est de 2 381 741 km² compte parmi les pays les plus vastes, et a pour objectif de relier toutes ses régions afin de les désenclaver et faire face au déséquilibre régional entre le nord et le sud. Pour créer cet équilibre, l'Algérie est dotée de plusieurs infrastructures aéroportuaires destinées en grande majorité pour le transport civil des travailleurs des champs pétrolier et gazier.

Le maintien en état de service des aéroports nécessite une auscultation annuelle selon l'importance de l'aéroport. Par conséquent, un renforcement est conseillé en cas de dégradation des aires de manœuvre pour assurer la sécurité des usagers et le matériel aéronautique

L'aéroport de Hassi R'mel située au cœur du Sahara, présente des dégradations importantes sur l'ensemble de ses aires de manœuvre. Ajouter à cela une absence totale des aires de sécurité. Pour y remédier, une démarche d'étude sera faite pour aboutir au choix de la meilleure solution en tenant compte de tous les critères techniques, économiques et opérationnels, ainsi une mise en norme est conseillée pour l'homologation de ce dernier.

Parmi les solutions projetées plusieurs variantes ont été évaluées, en prenant compte sur les nouveaux moyens et produits utilisés dans les renforcements des chaussées aéronautiques notamment la géosynthétique.

Toutefois, notre mémoire est réparti en deux parties :

- La première est consacrée à une étude bibliographique, qui reprend toutes les définitions sur le cycle de vie des chaussées aéronautiques souples, l'entretien et le renforcement de ces dernières.
- La deuxième partie aborde un cas d'étude de renforcement et une mise en norme de l'aéroport de Hassi R'mel.

PARTIE I



CHAPITRE I

NOTION SUR LES AERODROMES

I. Notion sur les aérodrômes

I.1. Introduction

Le présent chapitre est dédié à une présentation introductive de l'aérodrome. Il comprend des définitions et généralités sur les aérodrômes ainsi que les spécifications minimales prescrivant les caractéristiques géométriques (dimensions et règles de conception) que doivent présenter les infrastructures aéroportuaires. Ces spécifications ont été rapportées du volume I de l'annexe 14 de l'OACI (organisation de l'aviation civile internationale) et définie en tenant compte des caractéristiques opérationnelles et physiques des avions, ainsi que sur des considérations technico-économiques.

I.2. Généralité sur les aérodrômes

Un aérodrôme est une zone spécialement aménagée pour l'atterrissage, le décollage des aéronefs et pour l'exercice des activités nécessaires à leur exploitations ; il comprend deux parties principales :

- L'aire de mouvement
- Les zones d'installations

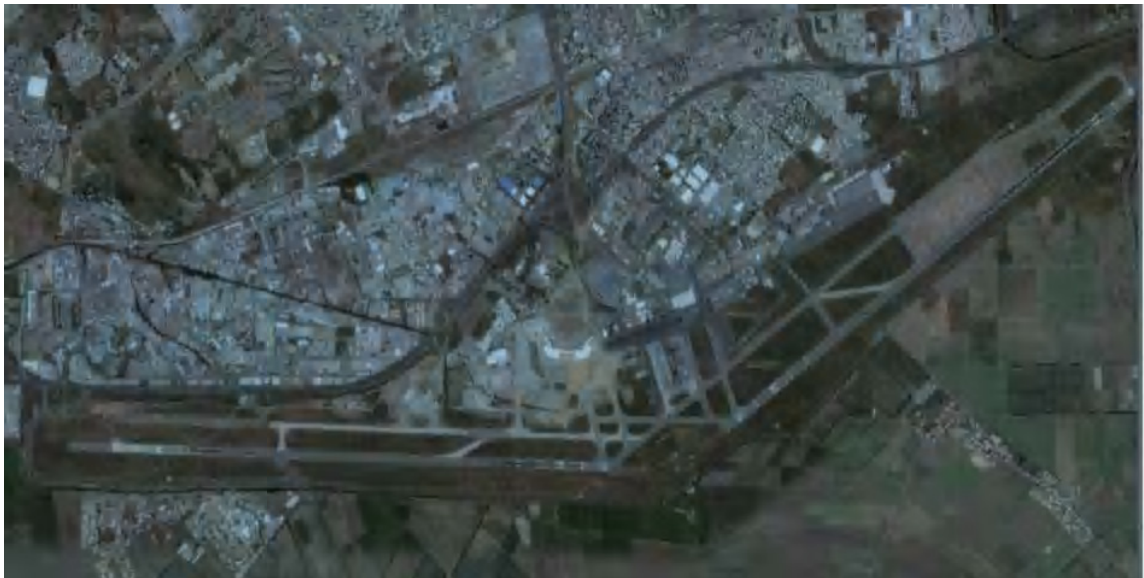


Figure I.1 image satellitale de l'aérodrome d'Alger

I.2.1. L'aire de mouvement :

L'aire de mouvement est l'ensemble d'éléments destinés à permettre l'atterrissage, le décollage et l'évolution au sol ainsi que le stationnement des avions et qui sont :

1. **La piste d'envol** : c'est une aire de l'aérodrome aménagée pour le décollage et l'atterrissage des aéronefs. Elle a une forme rectangulaire allongée, Généralement un aérodrôme comporte deux types de piste à savoir :
 - Pistes principales : elles sont en principe les plus longues de l'aérodrome et correspondent aux meilleurs dégagements et aux directions d'envol les plus favorables.

- Pistes secondaires : Ces pistes sont utilisées lorsque la direction du vent ne permet pas l'utilisation de la piste principale ou lorsque des circonstances particulières rendent la piste principale indisponible ; Les pistes secondaires sont plus courtes que les pistes principales de 10 à 20 %.
2. **La bande de piste :** C'est une aire comprenant la piste ; Elle est destinée à :
 - Réduire les risques de dommages matériels en cas de sortie de piste d'un aéronef
 - Assurer la protection des aéronefs qui survolent cette aire au cours des opérations de décollage ou d'atterrissage.
 3. **Le prolongement d'arrêt :** Aire rectangulaire, définie au sol, coaxiale à la piste, adjacente à l'une de ses extrémités, et aménagée de façon à permettre à un aéronef de terminer sa manœuvre de décollage interrompu dite d'accélération-arrêt et de pouvoir le faire sans subir de dommages
 4. **Les voies de circulation :** elles sont des parties de la surface de l'aérodrome empruntées par les aéronefs pendant leurs évolutions au sol. Elles sont dotées de chaussée et doivent permettre une liaison aussi directe que possible entre les différents points de l'aérodrome
 5. **Les aires de stationnement :** sont des parties de la surface de l'aérodrome destinées aux aéronefs pendant l'embarquement ou le débarquement des voyageurs, le chargement ou le déchargement du courrier ou du fret, l'avitaillement ou la reprise de carburant, le stationnement ou l'entretien.

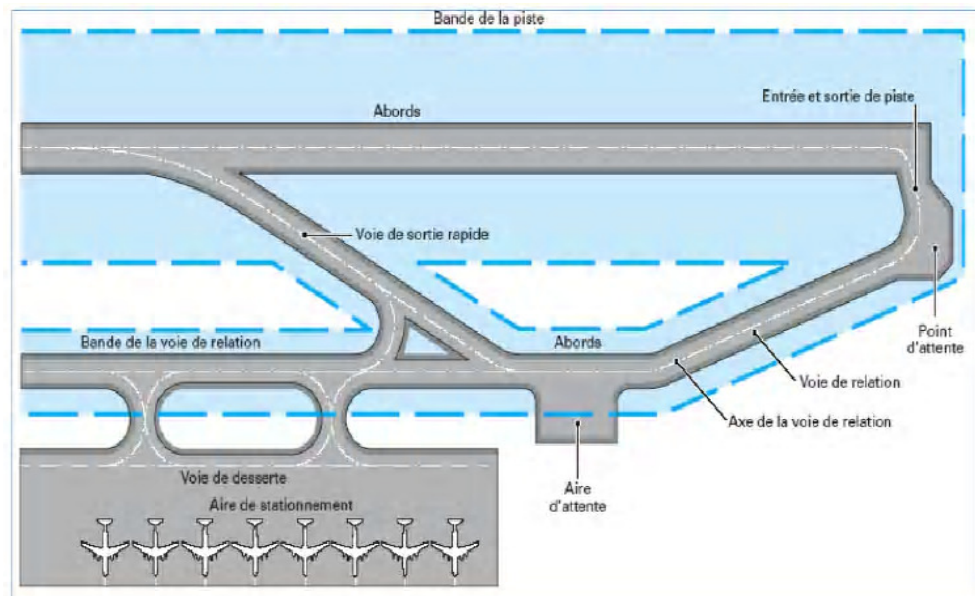


Figure 1.2 Eléments constitutifs d'une aire de mouvement

I.2.2.Les zones d'installations

Elles sont situées à proximité des aires de trafic et sont, en générale regroupées par zone d'activité semblable.

I.2.2.1.Zones d'exploitations

Ces zones comprennent les ouvrages destinés à l'exploitation de l'aérodrome :

- **Exploitation commerciale** : aérogare passagers, aérogare de fret, commissariat hôtelier, abri de matériel de piste, parcs à véhicules, dépôts de carburant, etc. ;
- **Exploitation technique** : bloc technique et vigie, moyens généraux de l'aérodrome, service incendie, centrale électrique et parcs à véhicules correspondants

I.2.2.2.Zones d'activités industrielles

Les zones d'activités industrielles regroupent les ouvrages nécessaires à l'entretien et aux réparations d'aéronefs, éventuellement même à la construction aéronautique.

I.2.2.3.Zones spécialisées

Zones dédiées à une activité spécifique, par exemple :

- Zone militaire (armée de l'air, de terre ou aéronavale) ;
- Zone pour la sécurité civile ;
- Zone d'aviation générale (monomoteur, planeurs, etc.).

I.2.2.4.Installations diverses

Dispersées en divers endroits de l'aérodrome, ces zones, en fonction de leur utilisation, peuvent être :

- Les installations de balisage ;
- Les postes de transformation ;
- Les émetteurs de radionavigation ;
- Les installations de mesures météorologiques ;
- Les réseaux divers (assainissement, câbles électriques, etc.).

I.3.Classification des aérodromes

Il est nécessaire de classer les aérodromes en diverses catégories : L'O.A.C.I utilise à cet effet un système d'identification intitulé code de référence.

Le code de référence fournit une méthode simple permettant d'établir une relation entre les nombreuses spécifications qui traitent des caractéristiques d'un aérodrome afin de définir une série d'installations adaptées aux avions qui seront appelés à utiliser cet aérodrome. Le code de référence se compose de deux éléments liés aux caractéristiques de performances et aux dimensions de l'avion.

- **L'élément 1** est un chiffre fondé sur la distance de référence de l'avion
- **L'élément 2** est une lettre fondée sur l'envergure de l'avion et la largeur hors-tout de son train principal.

Le tableau suivant montre tous les codes de référence associés aux différents types d'aérodromes.

Tableau I.1 Code de référence associés aux différents types d'aérodromes

Elément de code 1		Elément de code 2		
Chiffre de code	Distance de référence de l'avion base	Lettre du code	Envergure	Largeur hors tout du train d'atterrissage
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
1	Inférieur à 800 m	A	Jusqu'à 15 m exclus	Jusqu'à 4.5 m exclus
2	800m à 1200 m exclus	B	15m à 24 m exclus	4.5 à 6 exclus
3	1200 m à 1800 m exclus	C	24m à 36m exclus	6m à 9m exclus
4	1800m et plus	D	36m à 52 m exclus	9m à 14 m exclus
		E	52 m à 60m exclus	9m à 14m exclus

I.4. Les caractéristiques physiques des constituants de l'aire de mouvement selon le code de référence

I.4.1. Caractéristique physique des pistes

- **La Largeur :** La largeur d'une piste revêtue ne doit pas être inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau ci-dessous, en fonction des codes de référence.

Tableau I.2 Largeur d'une piste en fonction des codes de référence

Chiffre de code	Lettre de code				
	A	B	C	D	E
1	18m (*)	18m (*)	25m (*)	-	-
2	23m (*)	23m (*)	30m	-	-
3	30m	30m	30m	45m	-
4	-	-	45m	45m	45m

(*) lorsque le chiffre de code est 1 ou 2, la largeur d'une piste avec approche de précision ne doit pas être inférieure à 30m.

- **La Longueur :** La longueur réelle d'une piste doit être suffisante pour répondre aux exigences opérationnelles des avions auxquels la piste est destinée. Elle est conditionnée par le chiffre de code de l'avion de référence appelé à utiliser l'aérodrome.
- **Surface de piste :** La surface d'une piste revêtue doit fournir de bonnes caractéristiques de frottement lorsque cette piste est mouillée.

➤ **Pente de piste :**

- **Pente longitudinale :** La pente moyenne longitudinale, s'obtient en divisant, par la longueur de la piste, la différence entre les altitudes maximale et minimale mesurées sur son axe, et elle ne doit pas dépasser :
 - 1% lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
 - 2 % lorsque le chiffre de code est 1. Ou 2.

En outre, aucune portion du profil en long de la piste ne doit présenter une pente longitudinale dépassant :

- 1,25 % lorsque le chiffre de code est 4 ; toutefois, sur les premier et dernier quart de la longueur de la piste, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0,8 % ;
 - 1,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ; toutefois, sur les premier et dernier quart de la longueur d'une piste avec approche de précision de catégorie II ou III, la pente longitudinale ne devrait pas dépasser 0,8 % ;
 - 2 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.
- **Pente transversale :** 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 ;
 - 2 % lorsque la lettre de code de la piste est A ou B ;

Mais elle ne devrait en aucun cas être supérieure à 1,5 % ou 2 %, selon le cas, ni inférieure à 1 %.

- **Accotement de la piste :** ils doivent être aménagés ou construits de manière à réduire au minimum, pour un avion qui s'écarte de la piste, les risques qu'il pourrait encourir du fait d'un défaut de portance du sol en place ou du manque de cohésion de ce dernier ; Les accotements protègent également les extrémités latérales de la piste et contribuent à freiner l'érosion du sol. Les accotements devraient être aménagés lorsque :
- La lettre de code est D ou E et que la largeur de la piste est inférieure à 60 m ;
 - La lettre de code est F.

Les accotements de piste devraient s'étendre de part et d'autre de la piste de telle sorte que la largeur totale de la piste et de ses accotements ne soit pas inférieure à :

- 60 m lorsque la lettre de code est D ou E ;
- 75 m lorsque la lettre de code est F.

1.4.2. Les caractéristiques physiques de la bande de piste

- **Longueur :** elle s'étend en amont du seuil et au-delà de l'extrémité de la piste ou du prolongement d'arrêt jusqu'à une distance d'au moins :
- 60 m lorsque le chiffre de code est 2, 3 ou 4 ;
 - 60 m lorsque le chiffre de code est 1 et qu'il s'agit d'une piste aux instruments ;
 - 30 m lorsque le chiffre de code est 1 et qu'il s'agit d'une piste à vue.

- **Largeur** : elle ne doit pas être inférieure à la dimension spécifiée dans le tableau ci-dessous, en fonction des codes de référence.

Tableau I.3 Largeur d'une bande de piste en fonction des codes de référence

Le chiffre de code	L'approche de l'aérodrome		
	A vue	De précision	Classique
1	40m	75m	75m
2	30m	75m	75m
3	75m	150m	150m
4	75m	150m	150m

- **Pente** :
- **Pente longitudinale** : La pente longitudinale, sur la partie d'une bande qui doit être nivelée, ne devrait pas dépasser :
 - 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.
 - **Pente transversale** : Sur la partie d'une bande à niveler, les pentes transversales devraient être suffisantes pour empêcher l'accumulation d'eau sur la surface mais elles ne devraient pas dépasser :
 - 2,5 % lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
 - 3 % lorsque le chiffre de code est 1 ou 2 ;

Les pentes transversales d'une partie de piste située au-delà de la piste à niveler ne devraient pas dépasser un gradient de 5 % calculé en s'écartant de la piste.

I.4.3. Caractéristique physique de l'aire de sécurité d'extrémité de piste

L'aire de sécurité d'extrémité de piste sera aménagée à chaque extrémité de la bande de piste lorsque :

- Le chiffre de code est 3 ou 4 ;
- Le chiffre de code est 1 ou 2 et la piste est une piste aux instruments.

Les aires de sécurité d'extrémité de piste, devraient pouvoir résister de façon appropriée à tout aéronef qui atterrirait trop court ou trop long ; elles devraient être libres de tout équipement et de toute installation non frangible.

- **Longueur** : elle doit s'étendre à partir de l'extrémité d'une bande de piste sur une distance aussi grande que possible, mais au moins sur 90 m.

Dans la mesure du possible, une aire de sécurité d'extrémité de piste devrait s'étendre à partir de l'extrémité d'une bande de piste sur une distance d'au moins :

- 240 m lorsque le chiffre de code est 3 ou 4 ;
- 120 m lorsque le chiffre de code est 1 ou 2.

- **Largeur** : elle doit être en mois plus large que la piste correspondante.

- **Pente** : La pente longitudinale et la pente transversale d'une aire de sécurité d'extrémité de piste ne devrait pas dépasser une valeur négative de 5 %.

I.5. Normes applicables aux aérodromes

Le règlement à adopter pour la réalisation de nouvelles infrastructures aériennes, est **l'annexe 14** (convention relative à l'aviation civile), qui reste de loin la plus importante dans le domaine de génie civil, créée par l'OACI (organisation de l'aviation civile internationale).

Par définition l'OACI est une institution spécialisée des nations unies, son rôle est de participer à l'élaboration des normes qui permettent la standardisation du transport aérien international.

I.6. Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'avoir une notion générale sur les aérodromes et du transport aérien et de se familiariser avec les différentes infrastructures aéronautiques. Ce qui nous facilitera l'étude du renforcement par la suite.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons les dégradations des chaussées souples.



CHAPITRE II

DEGRADATION DES CHAUSSES AERONAUTIQUES SOUPLES

II. Dégradation des chaussées aéronautiques souples

II.1. Introduction

Au cours du temps, les infrastructures aéroportuaires sont soumises, en plus des conditions environnementales et climatiques, à des chargements cycliques dû aux différentes manœuvres de l'avion durant leur exploitation. Par conséquent elles subissent des sollicitations sévères engendrant la perte des caractéristiques structurelles de son corps de chaussée.

Bien que les maîtres d'ouvrage suivent régulièrement l'état des pistes et des routes, avec des entretiens courants et/ou des réparations d'urgence et locales, des travaux d'experts dans le domaine sont nécessaires pour offrir des solutions adéquates, en fonction du type de dégradations constatées (propagation des fissures, fatigue des matériaux), afin d'assurer la sécurité de ces infrastructures et de restaurer efficacement leurs propriétés mécaniques originales (portance, uni longitudinal, adhérence), voire les améliorer.

II.2. Structure de chaussée souple

On appelle chaussées souples, les chaussées constituées principalement de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches de matériaux non traités

Une chaussée souple a une structure multicouche constituée généralement de trois parties principales :

- **Couche de surface** : sa fonction est de protéger la structure de toute action environnementale extérieure et du trafic ; elle a aussi un rôle de prévention contre la remontée de fissure. De plus, sa place dans la structure en fait la garante de l'uni, l'adhérence. Elle se subdivise en deux couches :
 - La couche de roulement : constitué généralement de béton bitumineux ou d'enduit superficiel.
 - La couche de liaison : constituée généralement d'émulsion cationique.
- **Assise de chaussée** : L'assise est composée des deux couches : base et fondation ; elle a pour fonction essentielle de répartir les charges induites par le trafic afin qu'elles soient compatibles avec la résistance du sol support.
- **Couche de forme** : elle permet de rectifier les hétérogénéités de la couche de sol support.

Une des fonctions premières de la chaussée est de diminuer les contraintes induites par le trafic au niveau du sol support. Ce dernier, serait en effet incapable de supporter seul les contraintes induites par le passage répété de charges roulantes.

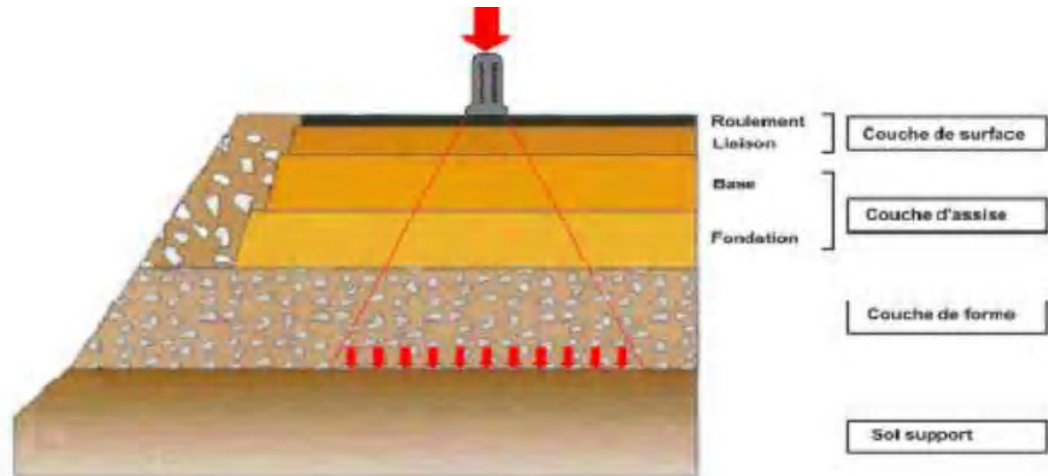


Figure II.1 Structure d'une chaussée

II.3. Les dégradations

Les dégradations sont définies comme étant un processus d'usure par lequel la capacité fonctionnelle et structurelle d'une chaussée diminue. Elles se manifestent après l'exploitation excessive de l'infrastructure lors de sa mise en service, des conditions climatiques, la nature du sol support, le mauvais drainage et de la qualité des matériaux de mise en œuvre.

Le catalogue établi par le STAC (service technique de l'aviation civile) met en évidence plus de 30 dégradations. Dans notre étude on s'intéresse à des dégradations dans les chaussées souples

II.3.1. Classification des dégradations dans les chaussées souples

On distingue 4 familles principales de dégradations.

II.3.1.1. Les déformations

Les déformations sont des ondulations ou dépressions qui prennent généralement naissance dans le corps de chaussée ou dans le sol support et qui se manifestent sur la couche de roulement. On a plusieurs types de déformation :

- Flache.
- Ornière.
- Déformation en W.
- Gonflement.
- Tassement différentiel.

II.3.1.2. Les fissurations

Les fissurations sont des lignes de rupture franches, perpendiculaire ou parallèles à l'axe de la chaussée, elles sont dues à la rupture d'une ou plusieurs couches de la chaussée lorsque les contraintes de tractions admissibles sont dépassées. On a plusieurs types de fissurations :

➤ Fissures de fatigue :

C'est une Fissure longitudinale apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs. Elle est souvent accompagnée de fissures transversales à intervalle aléatoire et d'une dépression. Et pour **causes** :

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

Son **évaluation** est :

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.
- Départ de matériaux.
- Faiççage de fatigue.

➤ Faiççage de fatigue :

Ensemble de fissures formant un maillage plus ou moins large, généralement située dans les traces des atterrisseurs et est accompagnée d'une dépression. Les **causes** sont :

- Fatigue de la couche de roulement ou de la totalité de la chaussée.
- Mauvaise qualité de certaines couches de la chaussée.
- Evolution d'un faiççage de retrait.

Ainsi son **évaluation** :

- Ouverture progressive des fissures.
- Arrachement des matériaux.
- Déformations.
- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.

➤ Fissure de joint :

Ouverture sous forme de fissure rectiligne au raccordement de deux bandes d'enrobé (joint longitudinal) ou à une reprise d'une bande d'enrobés (joint transversal). Les **causes** probables sont :

- Mauvais accrochage initial entre les deux bords du joint.
- Vieillesse du liant sous l'effet des variations de température

Ainsi son **évaluation** :

- Epaufrure des bords de joint.
- Décollement partiel de l'enrober.
- Faiççage, nid de poule.

➤ Fissure de retrait :

Fissure généralement transversale se rencontrant à intervalle régulier (de 3 à 20m) sur une partie ou la totalité de la largeur de la chaussée. Peut s'accompagner de déformations. Sa principale **cause** est le retrait thermique des couches sous-jacentes traitées aux liants hydrauliques et son **évaluation** est l'infiltration d'eau dans le corps de chaussée.

➤ Faïençage de retrait :

C'est un ensemble de fissures formant un maillage, les mailles étant sensiblement rectangulaires, (de largeur inférieure) 3 m et généralement supérieure à 60cm. Cette dégradation peut se rencontrer même dans les zones non circulées. Elle a pour **cause** : l'effet thermique dans la couche de roulement ainsi son **évaluation** est l'infiltration d'eau dans le corps de chaussée et le départ de matériaux.

➤ Faïençage parabolique :

C'est des fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement. Ces fissures peuvent être accompagnées de bourrelets. La **cause principale** est : l'effort tangentiel trop important dans la couche de roulement et affectant généralement les zones de virage ou de freinage. Concernant son **évaluation** : infiltration d'eau dans le corps de chaussée et le départ de matériaux.

II.3.1.3. Les arrachements

Les arrachements sont des phénomènes de rupture de l'adhésion entre les éléments ou les parties de la chaussée, et sont suivis de leur disparition.

Ce type de dégradation n'affecte que la couche de roulement au début de son apparition mais peut s'aggraver en affectant les couches sous-jacentes au revêtement

On a plusieurs types d'arrachement :

- Nids de poules.
- Le désenrobage.
- Les brûlures.
- Les pelades.

II.3.1.4. Autres dégradations

- La contamination souillure.
- Dépôts de gomme.
- Poinçonnement.
- Les enrobes poreux.
- Les remontés d'eau.

II.3.2.Niveau de gravité des dégradations

La gestion des infrastructures aéroportuaires étant très rigoureuse, il a été nécessaire d'introduire la notion de niveau de gravité, pour permettre de tenir en compte et surveiller l'évolution des dégradations dans le temps, ainsi que de prendre les mesures nécessaires envers ces derniers.

Le STBA a défini 3 niveaux de gravité qui sont :

- Niveau léger : L
- Niveau moyen : M
- Niveau élevé : E

II.4.Facteur influant sur les dégradations des chaussées

Le comportement des chaussées, à long terme, dépend essentiellement :

- Du trafic écoulé mesuré en volume et en nature ;
- Des conditions climatiques ;
- De la nature du sol support ;
- Du dimensionnement du corps de chaussée ;
- Du mauvais drainage ;
- De la qualité des matériaux.

II.5.Conclusion

Connaitre les types de dégradation est primordiale pour faire l'auscultation de la chaussée aéronautique et pouvoir déterminer la meilleure méthode de renforcement de cette dernière.

Dans le prochain chapitre, on va aborder les méthodes et outils utiliser pour faire une auscultation de la chaussée aéronautique



CHAPITRE III

AUSCULTATION DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

III. Auscultation des chaussées aéronautiques

III.1. Introduction

Dès leur mise en service, les ouvrages de tous types entrent dans un processus de vieillissement qui durera toute leur vie. Les routes en particulier, peuvent connaître des désordres de gravité très variable dont les causes sont multiples. Ces désordres, qui apparaissent au niveau des matériaux et de la structure, ont des conséquences sur la stabilité et la longévité de notre chaussée. Connaître l'origine de ces désordres permettra non seulement de mieux concevoir et construire les chaussées, mais aussi de trouver des solutions adéquates pour y remédier.

L'auscultation structurelle d'une chaussée consiste à évaluer, par des moyens externes, et non destructifs, sa capacité résiduelle à supporter un trafic aérien donné. Les résultats d'une étude d'auscultation peuvent se traduire soit en termes de capacité portante ou « portance », traduite en termes de charge admissible d'un aéronef pour un trafic donné, de portance RSI (Roue Simple Isolée) ou de PCN (Pavement Classification Number), soit en termes de durée de vie résiduelle.

III.2. Suivi et auscultation des chaussées aéronautiques

Le suivi des chaussées aéronautiques consiste à évaluer périodiquement des indicateurs d'état qui caractérisent notamment la portance, l'uni, l'adhérence, l'état de surface, ...

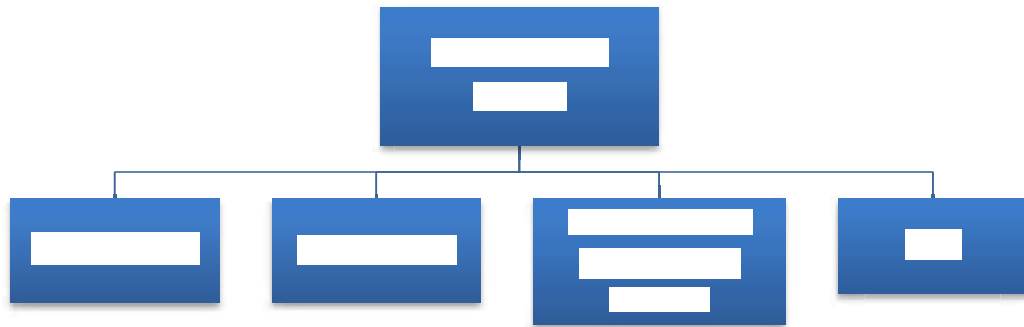


Figure III.1 Organigramme des indicateurs d'état

- **La portance** : concerne la famille des déformations, fissures de fatigue et le faïençage ;
- **L'uni** : concerne les familles des déformations comme la pelade ;
- **L'étanchéité** : concerne les familles de fissures et les arrachements ;
- **La glissance** : concerne les familles des déformations, ainsi le dépôt de gomme, ressuage, les remontées d'eau et de fines.

Tous ces paramètres sont suivis d'un relevé de dégradation qui consiste à enregistrer les dégradations observées conformément au catalogue de dégradation du STBA.

III.2.1. Inspection visuelle des chaussées aéronautiques :

L'inspection visuelle est un examen de l'état structural d'une chaussée dans le but de relever les types de défauts présentes et de consigner l'étendue et la gravité de ces défauts.

Un examen technique détaillé de l'état structural des surfaces de toutes les aires de mouvement côté piste devrait être effectué régulièrement par des ingénieurs, des techniciens ou des membres du personnel d'entretien formés. A cet effet, il est recommandé qu'un examen de l'état soit effectué une fois par an.

III.2.1.1. La méthode de l'indice de service IS

L'indice de service IS, ou le PCI (Pavement condition index) est un indicateur numérique déterminé à partir du relevé de dégradations et qui représente l'état de la chaussée, sa valeur varie entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve).

Le tableau ci-dessous, permet d'apprécier le niveau de qualité de la chaussée, en fonction de la valeur de son indice de service IS :

Tableau III.1 Niveau de service en fonction de l'indice de service

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

Les étapes de la méthode de calcul de l'indice de service sont :

1. **Relevé des dégradations :** Le relevé de dégradations doit être effectué sur des sections homogènes de point de vue structural (âge et composition du corps de chaussée) ainsi que la nature du trafic reçu.

Chaque section homogène doit être divisée en sous sections appelées maille dont les dimensions doivent être :

- 500 m² dans les chaussées souples ;
- 20 dalles de 5 x 5 m dans le cas des chaussées rigides (500 m²).

Chaque dégradation est répertoriée à l'aide du triplet suivant :

- Type de dégradation
- Niveau de gravité : Léger (L), moyen (M) ou élevé (E).
- Densité de dégradation dans la maille considérée

2. **Déterminer la densité de dégradation** de chaque doublet type de dégradation-niveau de gravité :

$$\text{Densité de dégradation en \%} = \frac{\text{Surface de la dégradation considérée}}{\text{Surface de la maille du relevé}}$$

3. **Passer à une valeur numérique significative de l'influence** de chaque dégradation sur les qualités de la chaussé, appelée valeur déduite (VD) et déterminée à l'aide des courbes de valeurs déduites (Valeur déduite en fonction de la densité de dégradation).
4. **Sommer les valeurs déduites (VD)** pour chaque maille inspectée, pour obtenir la valeur déduite totale (VDT).

$$VDT = \sum VDi$$

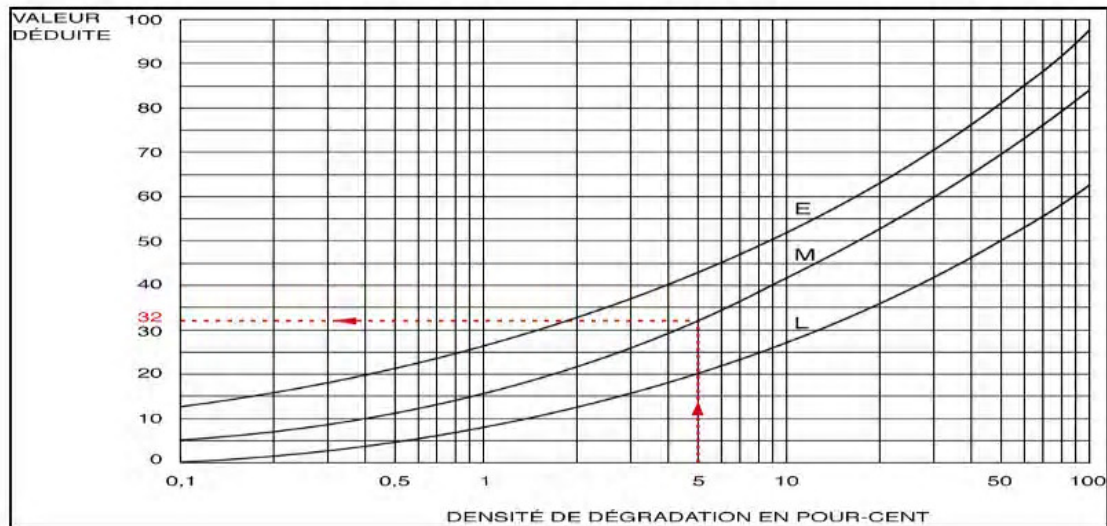


Figure III.2 Exemple de courbe de valeurs déduites (Flache)

5. **Déterminer la valeur déduite corrigée (VDC)**, pour chaque valeur déduite totale (VDT), à l'aide des abaques, en tenant compte du nombre de dégradations significatives (la valeur déduite doit être supérieur à 5 points). Cette dernière pondération permet de relativiser le processus de détérioration des chaussées en fonction du nombre de dégradations observé.

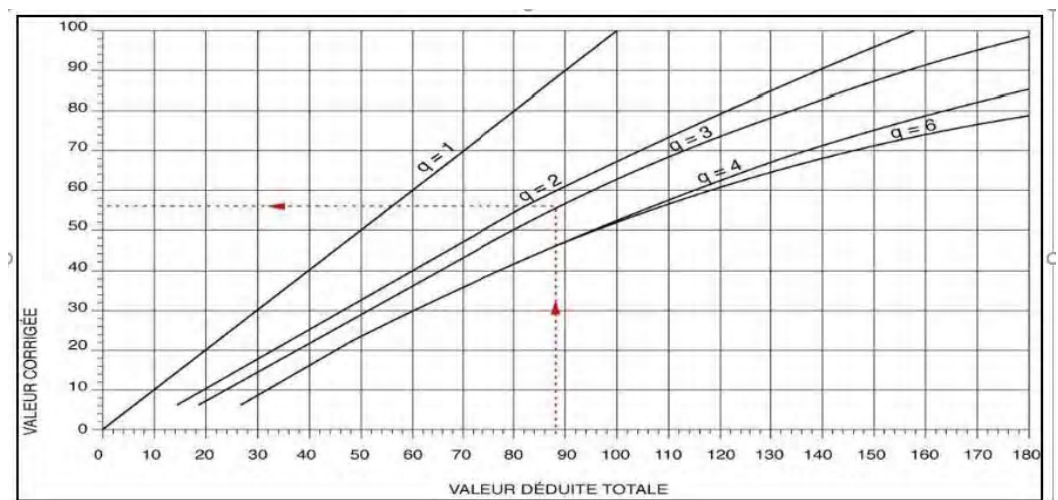


Figure III.3 Abaque apportant correction à la valeur déduite (q étant le nombre de dégradations significatives sur la maille considérée)

6. Calculer l'indice de service de chaque maille :

$$IS = 100 - \text{Valeur déduite corrigée}$$

L'indice de service global de la section caractéristique, et qui prend en considération l'ensemble des dégradations recensées lors du relevé visuel, représente la moyenne arithmétique des indices de service des différentes mailles qui la composent.

III.2.2. Contrôle des qualités de surface

III.2.2.1. Contrôle de l'uni

L'uni d'une chaussée est un critère de qualité géométrique. Il caractérise l'ensemble des dénivellations de la surface de la chaussée par rapport à ses profils théoriques.

Sur une piste, certains défauts d'uni ressentis alors que les avions évoluent à des vitesses élevées, pendant les phases d'atterrissage ou de décollage, peuvent affecter la sécurité. Circulées à moindre vitesse, les autres parties de l'aire de mouvement posent des problèmes d'uni moins essentiels.

L'uni est mesuré au moyen d'un appareil de type profilomètre inertiel laser RSP 5051 de marque Dynates fixé à l'aide de supports métalliques à l'avant du véhicule. L'appareil est composé de deux sondes laser et de deux accéléromètres et un instrument de mesure de distance (DMI) fixé à la roue arrière du véhicule. Il est assisté par une unité d'acquisition (DPU) et un ordinateur de bord. Notre profilomètre est doté aussi d'un appareil photo pour la capture des images lors de son passage.



Figure III.4 Appareil de vérification de l'uni

Les données obtenues sont enregistrées sous forme de profils en long, avec le logiciel de traitement IMPLAX on peut calculer l'indice de planéité ou de confort ou roulement IRI « International Roughness Index » et avec le logiciel de traitement ProFAA on peut calculer l'indice BBI « Boeing Bump index ». L'indice IRI est calculé tous les 10 m, ce dernier représente un indicateur d'uni proportionnel aux déplacements verticaux cumulés de l'axe d'une roue par rapport au châssis du véhicule exprimé en m/km. L'IRI varie entre 0 m/km et 10 m/km représentant, respectivement, une chaussée parfaite et une chaussée complètement détériorée sur laquelle on ne peut circuler qu'à vitesse réduite. L'indice BBI est calculé chaque 25cm, cette méthode est basé sur la détection des irrégularités de la surface qui se présente sous forme de Bosses, la géométrie de ces dernières est ensuite caractérisée et étudiée le long de la piste. L'uni est considéré acceptable si la valeur de BBI est inférieure à 01, dans le cas contraire, l'uni est excessif ou inacceptable.

III.2.2.2. Contrôle de l'adhérence :

La surface d'une piste revêtue sera traitée à l'origine, ou à l'occasion de sa rénovation, de manière que son coefficient de frottement soit suffisant lorsque la chaussée est mouillée. Diminuant en effet lorsque la chaussée est mouillée, l'adhérence à la piste des pneumatiques d'un avion est essentielle pour :

- Le freinage à l'atterrissage ou en cas de décollage interrompu.
- La mise en rotation des roues à l'impact à l'atterrissage.
- Le contrôle au roulage de la direction, notamment en présence de vents traversiers, 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.

Bien que le principe d'adhérence pneu - chaussée 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 de 300 km/h pour certains types d'appareils).
- L'importance de la masse déplacée.

III.2.3. Évaluation de la portance

La portance d'une chaussée, représente son aptitude à supporter les charges dues aux avions en garantissant l'intégrité de sa structure pendant sa durée de vie.

La portance des chaussées peut être mesurée à l'aide de deux types d'appareils : la remorque de portance et le HWD (Heavy Weight Deflectometer).

III.2.3.1. La remorque de portance du STAC

Permet une auscultation lourde, et a pour principe d'appliquer sur la chaussée, à l'aide d'un vérin, une charge comparable à celle d'une roue d'avion. La charge admissible de la chaussée est déduite directement par l'analyse de la réponse de la chaussée sous l'application répétée d'une charge. Le matériel d'essai est constitué d'un tracteur et d'une remorque. La remorque sert de massif de réaction pour les essais. Elle est pourvue de deux caissons de 20 m³ servant de test qui porte sa masse à 60 tonnes.



Figure III.5 Remorque de portance du STAC

III.2.3.2. Le déflectomètre à charge tombante ou HWD

HWD (Heavy Weight Deflectometer) est un appareil plus léger conçu pour simuler et mesurer les sollicitations d'une charge roulante sur une chaussée par application d'un chargement impulsionnel sur une plaque circulaire. La charge dynamique, appliquée sur la chaussée et mesurée par un capteur d'effort, provoque un bassin de déflexion qui est mesuré. La force dynamique appliquée, fixée par la hauteur de chute de la masse, est adaptée en fonction de la nature de la structure testée.

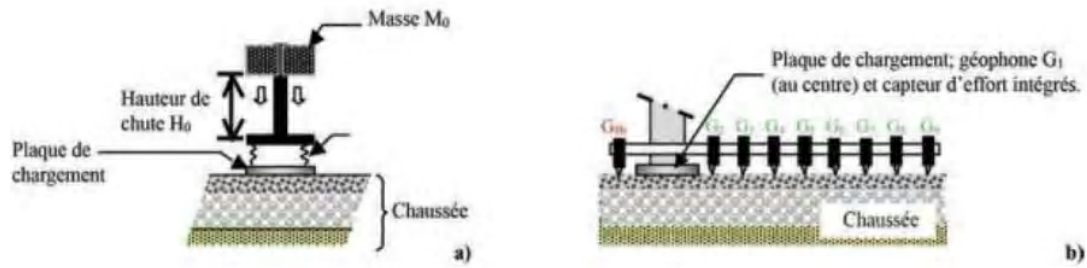


Figure III.6 Essais du HWD

Principe de mesure et traitement

L'appareil HWD consiste à reproduire les sollicitations dues au passage d'un véhicule lourd ou avion et à mesurer la réaction de la chaussée en mesurant le bassin de déflexion à l'aide de neuf (09) géophones (voir schéma du principe de l'essai en Fig.6). 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 structurale des chaussées aéronautiques dépend de l'avion le plus contraignant.

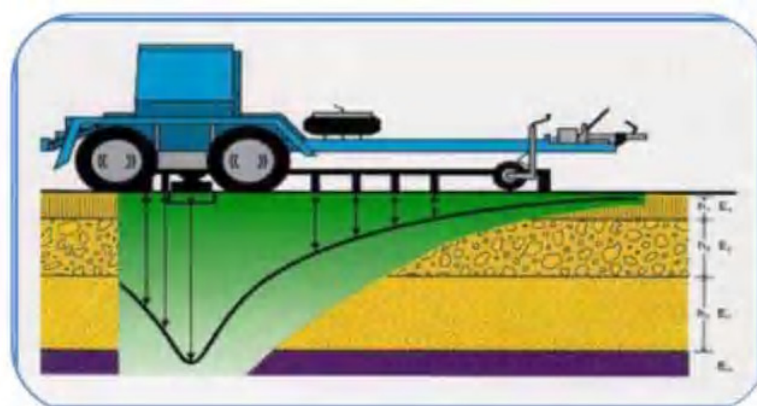


Figure III.7 Appareil HWD

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

En plus de la mesure de déflexions, trois types de thermomètres sont utilisés :

- Un thermomètre à infrarouge mesurant la température à la surface.
- Deux autres thermomètres mesurent la température de l'air et la température à l'intérieur de la couche bitumineuse.

III.3.Conclusion

Ce chapitre a pour but de connaître et de maîtriser les différentes méthodes d'auscultations qui permettront d'évaluer l'état de la chaussée aéronautique. C'est une étape importante dans le renforcement de la chaussée.

Dans le chapitre suivant, nous allons entamer le dimensionnement de la chaussée aéronautique et le calcul des charges admissibles.



CHAPITRE IV

DIMENSIONNEMENT ET CALCULE DES CHARGES ADMISSIBLES

IV. Dimensionnement et calcul des charges admissibles

IV.1. Introduction

Les matériaux et les techniques de construction utilisés dans les domaines des infrastructures routières, portuaires, aéroportuaires et ferroviaires évoluent pour pouvoir répondre aux nouvelles conditions de circulation, à la conception des chaussées, à la politique d'entretien et aux conditions économiques. Aujourd'hui, le résultat de cette évolution est l'utilisation de deux voir plusieurs matériaux qui gardent leur nature intrinsèque et complètent leurs qualités pour former un matériau aux performances globales améliorées appelé « matériau composite ».

Dans ce qui suit nous allons aborder les différentes méthodes de dimensionnement du corps de chaussée, ainsi le calcul des charges admissibles par la méthode ACN/PCN

IV.2. Méthodes de dimensionnement du corps de chaussée

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

IV.2.1. Méthode empirique « STBA »

La méthode empirique du service technique des bases aériennes « STBA » repose sur les deux hypothèses suivantes :

- La durée de vie de la chaussée est fixée à 10 ans ;
- Le trafic normal est fixé à 10 mouvements par jour.

Il est à noter que ces deux hypothèses ont servi à établir les abaques de dimensionnement.

IV.2.2. Méthode de dimensionnement optimisée

La méthode optimisée permet de dimensionner une chaussée en prenant en compte plusieurs types d'avions à fréquences différentes. Cette dernière présente l'avantage de pouvoir convertir les mouvements réels de chacune des charges réelles considérées en mouvements équivalents d'une charge de référence.

IV.2.3. Méthode de dimensionnement forfaitaire

La méthode forfaitaire permet de dimensionner une chaussée en fonction d'une charge de référence correspondant à la charge maximum de l'avion réputé le plus contraignant. Le dimensionnement est calculé dans les conditions de trafic normal, soit dix mouvements par jour pendant dix ans de la charge de calcul.

IV.3. Dimensionnement des chaussées souples avec la méthode forfaitaire

Les chaussées aéronautiques souples sont dimensionnées de manière à limiter les contraintes dans toutes les couches et sur le sol support, considéré comme l'endroit le plus critique. Les critères de dimensionnement utilisés sont la limite admissible des contraintes verticales sur le sol support. Le dimensionnement des chaussées souples implique en premier

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES CHARGES ADMISSIBLES

lieu : le calcul de l'épaisseur équivalente totale de la chaussée. Les données nécessaires au dimensionnement sont :

- Avion de référence ;
- Masse maximale ;
- Distribution de charge ;
- California Bearing Ratio (CBR) ;
- Estimation de trafic.

Le principe de la méthode est le suivant :

1. Donnée de trafic sur l'aire considérée.

P : la charge maximale de l'avion au roulage
N : mouvements réels par jour/10ans
CBR : Indice de portance

2. Pondération de la charge selon l'aire considérée.

P' : la charge Réelle pondérée
N : mouvements réels par jour/10ans

3. Conversion de la charge pondérée P' à N mouvements par jour dans 10 ans en une charge p'' pour dix mouvement par jour dans 10 ans.

P'' : Charge normale de calcul pour dix mouvements par jour dans 10 ans

4. Utilisation des formules ou les abaques de dimensionnement pour l'avion critique

E : Epaisseur

**IV.4. Moyens d'évaluation pour déterminer la portance des chaussées
aéroportuaires**

IV.4.1. Approche pratique de la méthode ACN/PCN

La méthode ACN/PCN est un système normalisé par l'OACI (Organisation de l'aviation civile internationale) et adopté comme outil de gestion des chaussées aéronautiques, aussi bien sur les aérodromes civils que militaires.

L'ACN (Aircraft Classification Number) est un nombre évalué par le constructeur qui exprime l'agressivité de l'avion sur la chaussée. Ce nombre varie selon la qualité du sol-support de la chaussée et est calculé selon les procédures normalisées du Manuel de conception des aérodromes de l'OACI.

Le PCN (Pavement Classification Number) est un nombre évalué par le gestionnaire qui exprime la capacité portante de la chaussée, qu'elle soit souple ou rigide, pour une utilisation sans restriction. L'OACI n'impose aucune méthode pour son calcul et en laisse le libre choix aux Etats et exploitants d'aérodrome. Par souci de comparaison, le PCN doit être défini selon les mêmes critères que l'ACN.

Un avion est admissible pour une utilisation sans restriction si son ACN est inférieur au PCN de la chaussée. Des dérogations ponctuelles sont prévues lorsque l'ACN dépasse le PCN (appendice A, section 19 de l'Annexe 14 [1]).

IV.4.1.1. Calcul de l'ACN

Les procédures normalisées pour le calcul des ACN figurent dans le Manuel de conception des aérodromes. Elles utilisent des méthodes empiriques fondées sur l'expérience (nombreux tests sur pistes expérimentales aux Etats-Unis) 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.

L'ACN est exprimé comme étant égal à 2 fois la charge admissible en tonnes sur une roue simple équivalente (RSE) gonflée à 1,25 MPa, appliquée 10 000 fois

Toutefois, les ACN sont généralement fournis sans limitation de pression. Par la suite, l'ACN est également une fonction linéaire de la masse Pt de l'avion, selon la formule suivante :

$$ACN = ACN_{min} + (ACN_{max} - ACN_{min}) \times \frac{Pt - m}{M - m}$$

Avec :

- **Pt** : Masse réelle de l'avion.
- **M** : masse de l'avion à charge maximale.
- **m** : masse de l'avion à charge minimale.
- **ACN_{min}** : ACN à charge minimale de l'avion.
- **ACN_{max}** : ACN à charge maximale de l'avion

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES CHARGES ADMISSIBLES

IV.4.1.2. Calcul du PCN

Les méthodes de calcul des indices PCN ont été classifiées en trois catégories :

- **Empirique** : se basent principalement sur les essais in situ.
- **Mécanique-empirique** : introduit une approche analytique pour la caractérisation des matériaux, tout en restant proche des méthodes empiriques.
- **Mécanique-empirique dite « étendue »** : a pour but de simuler au plus près les conditions réelles, tant du point de vue de la modélisation de chaussée que de la nature des sollicitations.

L'évaluation doit conduire pour les chaussées souples à déterminer d'une part la portance du support en termes de CBR et d'autre part l'épaisseur équivalente de la structure.

L'approche française constitue un exemple de méthode empirique. Sur chaussées souples, elle consiste à déterminer l'épaisseur équivalente en attribuant à chaque couche de chaussées des coefficients d'équivalence théoriques, issues d'expérimentations sur les matériaux. Le tableau suivant nous résume le coefficient d'équivalence pour chaque matériau utilisé

Tableau IV.1 Coefficient d'équivalence de chaque matériau

Matériaux	Coefficient d'équivalence
Béton bitumineux à module élevé	2.5
Béton bitumineux aéronautique standard	2
Enrobé à module élevé	1.9
Grave bitume standard	1.5
Grave émulsion	1.2
Grave concassée bien graduée	1
Grave roulée	0.75
Sable	0.5

L'épaisseur équivalente de la chaussée est égale à la somme des épaisseurs de chaque couche, pondérée par les coefficients d'équivalence. Ces coefficients sont applicables tels quels ou sont ajustés au moyen des résultats de mesures de déflexions. Une fois ces données recueillies, elle prévoit 2 options :

- **Un calcul forfaitaire** : consiste à calculer la charge admissible sur une roue simple isolée (RSI [t]) gonflée à 0,6 MPa et appliquée 10 000 fois ; La conversion en PCN s'effectue en multipliant cette RSI en tonnes par un coefficient fonction de la valeur CBR du sol support
- **Un calcul optimisé du PCN** : tient compte des effets de chaque type d'avion sur la structure des chaussées. Il consiste en effet à déterminer la charge admissible appliquée 10 000 fois de chaque avion du trafic prévisionnel, converti en ACN.

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES CHARGES ADMISSIBLES

Le PCN est égal à la somme des ACN des avions à leur charge admissible, pondérés par la part qu'ils prennent dans le trafic et il est calculé en utilisant la formule suivante

$$PCN = \frac{ACN_1 \cdot t_1 + ACN_2 \cdot t_2 + ACN_i \cdot t_i}{\sum_i t_i} \quad \text{Avec } t : \text{ le nombre équivalent de mouvements.}$$

IV.4.2. Codification du PCN

IV.4.2.1. Type de chaussée

Deux types de chaussée sont considérés pour la détermination des numéros ACN-PCN (souple et rigide). Dans le cas particulier de construction composite ou non normalisée, une note est ajoutée pour préciser le type de chaussée, mais il est préférable d'assimiler cette chaussée à une chaussée souple ou rigide, selon son comportement mécanique.

Le type de chaussée est désigné comme suit :

Tableau IV.2 Type de chaussée et lettre correspondant

Type de chaussée pour la détermination des numéros ACP-PCN	Lettre du code
Chaussée rigide	Code R
Chaussée souple	Code F

IV.4.2.2. Catégorie de résistance du terrain de fondation

Les catégories de résistance du terrain de fondation ainsi que les lettre de code correspondants sont comme suit :

Tableau IV.3 catégories de résistance du terrain de fondation

<u>Résistance élevée</u> : caractérisée par $K=150 \text{ MN/m}^3$, et représentant tous les valeurs de K supérieurs à 120 MN/m^3 pour les chaussées rigides, et par $\text{CBR}=15$ et représentant toute les valeurs CBR supérieurs à 13 pour les chaussées souples.	A
<u>Résistance moyenne</u> : caractérisée par $K=80 \text{ MN/m}^3$ et représentant une gamme de valeurs de K de 60 à 120 MN/m^3 pour les chaussées rigides, et par $\text{CBR}=10$ et représentant une gamme de valeurs CBR de 8 à 13 pour les chaussées souples	B
<u>Résistance faible</u> : caractérisé par $K= 40 \text{ MN/m}^3$ et représentant une gamme de valeurs de k de 25 à 60 MN/m^3 pour les chaussées rigides, et par $\text{CBR} =6$ et représentant une gamme de valeurs de CBR de 4 à 8 pour les chaussées souple	C
<u>Résistance ultra-faible</u> : caractérisé par $K= 20 \text{ MN/m}^3$ et représentant une gamme de valeurs de k inférieures 25 MN/m^3 pour les chaussées rigides, et par $\text{CBR} =3$ et représentant une gamme de valeurs de CBR inférieure à 4 pour chaussées souple.	D

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT ET CALCUL DES CHARGES ADMISSIBLES

IV.4.2.3. Catégorie de pression de pneus :

Les limites de pression de gonflage de pneumatique sont désignées par les lettres de code selon les indications du tableau suivant :

Tableau IV.4 catégories de résistance de pression des pneus

Catégorie de pression maximale admissible des pneus	Lettre de code
Elevée : pas de limite de pression	W
Moyenne : pression limitée à 1.5 Mpa	X
Faible : pression limitée à 1.00 Mpa	Y
Très faible pression limitée à 0.5 Mpa	Z

IV.4.2.4. Méthode d'évaluation

La base d'évaluation du PCN (technique ou par expérience du trafic) doit également figurer sur l'AIP. Elle est indiquée comme suit :

Tableau IV.5 Méthode d'évaluation

Méthode d'évaluation	Lettre de code
<u>Evaluation technique</u> : étude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisation de techniques d'études du comportement des chaussées	T
<u>Evaluation par expérience</u> : évaluation faisant appel à l'expérience acquise sur les avions : connaissance du type et de masse spécifique des avions utilisés régulièrement et que la chaussée supporte de façon satisfaisante	U

IV.5. Conclusion

Le dimensionnement du corps de chaussée des infrastructures aérienne se base sur les recommandations du RRTA ainsi que sur plusieurs normes françaises, afin qu'il puisse supporter les différentes contraintes qui lui seront appliquées et auxquelles il sera soumis tout au long de sa durée de vie.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons le renforcement des chaussées aéronautiques.



CHAPITRE V

RENFORCEMENT DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

V. Renforcement des chaussées aéronautiques

V.1. Introduction

Le renforcement est l'augmentation de la portance résiduelle d'une structure de chaussée en service par apport de couches supplémentaires, ou remplacement de couches abimées par des couches plus résistantes afin que cette chaussée résiste encore aux actions de trafics pendant une période déterminée.

V.2. L'entretien des chaussées aéronautiques souples

L'entretien des chaussées permet de réduire le recours à des travaux de renforcement non économiques et qui imposent souvent des restrictions au trafic aéroportuaire.

Etroitement lié au suivi régulier et rigoureux de l'état des chaussées, l'entretien désigne l'ensemble des interventions localisées qui permettent de maintenir ou de remettre les chaussées en état de service, sans volonté d'améliorer les qualités structurelles de celles-ci. Ces interventions se distinguent, donc, des travaux de renforcement par des objectifs différents. L'entretien peut-être :

- **Préventif** : qui comprend les interventions périodiques destinées à ralentir le processus de dégradation des aires de mouvement et à retarder le recours à des techniques plus lourdes de réfection (par exemple pour assurer l'étanchéité de la chaussée au niveau des joints et des fissures) ;
- **Curatif** : visant à redonner à la chaussée des caractéristiques fonctionnelles suffisantes dès qu'il y a risque pour l'exploitation (départ de matériaux par exemple).

V.3. Le renforcement des chaussées aéronautiques souples

Le renforcement est envisageable lorsque :

- La poursuite de l'entretien systématique est inefficace (la densité des dégradations relevant d'un défaut structurel devient trop importante pour que celles-ci relèvent encore du domaine des réparations) ;
- La charge admissible de la chaussée devient insuffisante pour répondre aux besoins de l'évolution du trafic aérien.

Il est à noter qu'en fonction de la période choisie pour les travaux, un renforcement peut être :

- **Préventif** : dans ce cas l'état visuel de la chaussée est acceptable mais la circulation future risque de dépasser, par son nombre ou par son poids, la portance de la chaussée.
- **Curatif** : ici le renforcement est destiné à pallier un manque de portance résiduelle de la structure actuelle et/ou remédier à un ou plusieurs défauts de structure.

L'accent, ici, est mis sur les résultats de l'examen visuel et des différentes auscultations pour en juger la nécessité ou non de recourir à des travaux de renforcement.

V.3.1. Différents types de renforcement

V.3.1.1. Le renforcement d'une chaussée souple par une chaussée souple

Le renforcement d'une chaussée souple consistera, dans la grande majorité des cas, à accroître l'épaisseur de la structure existante par apport d'une ou plusieurs couches «souples» supplémentaires. Le principe de calcul de l'épaisseur de renforcement consiste à comparer l'épaisseur équivalente de la structure existante avec celle d'une structure fictive dimensionnée pour le même CBR (ou même module d'élasticité) du sol support et pour un trafic prévu. La connaissance du trafic futur et du C.B.R. du sol support est donc indispensable.

La différence des épaisseurs équivalentes est convertie en épaisseur d'une ou de plusieurs couches de renforcement en tenant compte des deux remarques suivantes :

- Les coefficients d'équivalence des couches de chaussées doivent être corrigés en fonction de leur état réel ;
- Le coefficient d'équivalence d'une couche de chaussée à un niveau donné ne pourra être supérieur au coefficient d'équivalence de la couche rapportée au-dessus.

V.3.1.2. Le renforcement d'une chaussée souple par une chaussée rigide

Bien que ce type de renforcement soit envisageable techniquement, il demeure rarement adopté dans la mesure où :

- Cette solution est considérée non économique ;
- L'adoption d'une structure rigide impose des épaisseurs de renforcement importantes (l'épaisseur est régie par la règle d'Eisenman en fonction de la plus grande dimension de la dalle). Cette épaisseur doit être au moins de 15 cm et ce même pour l'aviation légère ;
- L'épaisseur de renforcement, généralement importante, induit des contraintes de raccordement en rives ;
- L'emploi du béton de ciment exige la fermeture de l'aire renforcée pendant les phases de mise en œuvre et de durcissement. Or, une remise en service immédiate après travaux étant généralement recherchée ;
- La nature des travaux se prête mal à un phasage ;
- La mise en œuvre du béton de ciment est difficilement maîtrisable dans la mesure où elle est sujette aux conditions climatiques (par exemple, cas des régions du sud algérien).

V.3.1.3. Mise en œuvre d'une chaussée sandwich

Les chaussées sandwich résultent de l'interposition d'une couche granulaire entre l'ancienne chaussée (souple ou rigide) et la couche de renforcement. Les solutions de renforcements qui conduisent à de telles chaussées sandwichs sont strictement interdites sur les chaussées aéronautiques (recommandation de la FAA et de l'OACI). En effet, il y a de forts risques que la couche granulaire de séparation se saturera d'eau par l'infiltration d'eau de surface, la remontée d'eau souterraine ou par la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique. Quelque

que soit son origine, l'eau qui se trouve dans la couche de séparation s'évacue généralement très mal, ce qui réduit la stabilité du renforcement et rendra son comportement imprévisible.

V.3.1.4. Renforcement avec interposition d'un géotextile :

La technique consiste à interposer sous la ou les couche(s) bitumineuse(s) un géotextile imprégné de bitume. L'ensemble est composé d'une couche d'accrochage réalisée avec un liant, en général un bitume modifié, mis en œuvre sous forme d'émulsion. Il existe maintenant des géotextiles collés sur des grilles de verre. Le rôle du géotextile est essentiellement de servir de réservoir pour le liant de manière à le maintenir en interposition entre le support et la couche de roulement. La mise en œuvre de cette technique est très simple. La première opération consiste à répandre le liant dont le dosage est adapté au géotextile qui sera utilisé. Il convient de mettre le maximum de bitume pour « saturer » le géotextile en majorant la quantité nécessaire de 300 g/m² pour assurer le collage de l'enrobé. La deuxième opération consiste à dérouler le géotextile aussitôt le répandage d'émulsion. L'application se fait généralement à l'aide d'un dérouleur monté sur un engin (tractopelle) avec un marouflage assuré par des balais montés sur le dérouleur de manière à assurer le collage du géotextile sur le liant.

Cette technique de mise en œuvre du géotextile permet une pose correcte et sans plis. On suit les étapes suivantes :

- **Première étape** : fraisage et nettoyage de la surface de la chaussée ;
- **Deuxième étape** : comblement des fissures par un produit bitumineux adapté ou application d'une couche de reprofilage ;
- **Troisième étape** : la quantité de liant de saturation est appliquée uniformément et dépassée de 10 cm au maximum de géo composite à installer. Le choix de type de produit dépend des conditions climatiques et du type de revêtement bitumineux utilisé ;
- **Quatrième étape** : le PGM est déroulé sur la couche d'accrochage ou moyen d'un engin de pose ;
- **Cinquième étape** : le revêtement bitumineux, d'une épaisseur minimum de 40 mm, est collé à chaud et peut être posé immédiatement après le PGM.



Figure V.1 Echantillon et mise en place de géotextile

V.4. Les caractéristiques des matériaux de renforcement

Les caractéristiques des matériaux à utiliser en renforcement concernent les couches de roulement et les couches de base. Les spécifications y afférentes sont celles utilisées pour la construction des chaussées neuves. D'une manière générale, le renforcement d'une chaussée s'effectue par apport :

- D'une seule couche de surface ;
- Ou bien d'une couche de surface et d'une couche de liaison ;

Il est possible de choisir, pour la couche de roulement, l'un des produits suivants :

- EB-BBA (béton bitumineux aéronautique) ;
- EB-BBME (béton bitumineux à module élevé) ;
- EB-BBSG (béton bitumineux semi-grenu) ;
- EB-BBM (béton bitumineux mince) ;
- BBTM (béton bitumineux très mince). Ce produit est réservé aux très faibles trafics.

Pour la couche de reprofilage et de liaison (couche intermédiaire entre la couche de roulement et l'ancienne chaussée), il peut être adopté :

- EB-BBA de type C (béton bitumineux aéronautique) ;
- EB-BBM (béton bitumineux mince) ;
- EB-BBSG (béton bitumineux serai-grenu) ;
- EB-BBME (béton bitumineux à module élevé) ;

V.5. Choix de la variante de renforcement

Plusieurs solutions techniques peuvent conduire à une augmentation de la portance de la chaussée. Le renforcement tel qu'il se présente sous sa forme simplifiée qui consiste à ajouter des couches supplémentaires n'est pas la seule solution possible pour remédier à l'inadaptation d'une chaussée à un trafic présent ou futur. En effet, il est possible d'envisager d'autres solutions tel que :

- La construction d'une chaussée neuve sur un nouvel emplacement mieux adapté ;
- La substitution (reconstruction totale ou partielle) qui consiste à détruire une ou plusieurs couches de la chaussée existante et à reconstruire la chaussée au même niveau ;
- Le renforcement par apport d'une ou plusieurs couches supplémentaires

Le choix d'une variante doit tenir compte :

- Des coûts de construction et d'entretien ;
- Des objectifs de gestion des chaussées ;
- Des conditions locales d'approvisionnement en matériaux ;
- Des délais d'exécution et des possibilités de phasage des travaux ;
- Des perturbations apportées à l'exploitation de l'aérodrome pendant le chantier ;
- Du climat (période de renforcement) ;
- Des possibilités de raccordement entre les différentes aires.

Sur chaussées souple, les renforcements sont pratiquement toujours réalisés avec une structure souple compte tenu des facilités de phasage et d'utilisation des chaussées après l'exécution d'une partie de travaux le renforcement par une structure rigide est rarement employé.

V.1.Conclusion

On termine cette première partie avec ce chapitre qui a pour but de mettre en évidence toutes les méthodes et technique de renforcement pour chaque type de dégradation de la chaussée souple. Ainsi comment déterminer le choix de la variante du renforcement.

PARTIE II



CHAPITRE I

PRESENTATION DU PROJET

I.Présentation du projet

I.1.Introduction

La bonne connaissance des caractéristiques du site est une étape essentielle qui précède l'étude de renforcement. A cet effet il est nécessaire de recenser les données suffisantes à savoir la géométrie de l'aérodrome, les données géologique et hydrogéologiques, la climatologie et la sismologie du site ainsi que l'historique et l'évolution du trafic aérien.

I.2.Situation générale

Hassi R'mel est une commune de la wilaya de Laghouat qui fait partie des wilayas du sud de l'Algérie, elle s'étale sur une superficie de 2,841 km² et elle est l'un des plus grands pôles industriels du pays aussi bien pour le nombre d'emplois qu'elle génère que par l'importance des infrastructures industrielles installées sur son sol.



Figure I.1 Situation géographique de Hassi R'mel

I.3.Cadre géologique régional

En examinant la carte géologique de l'Algérie du Nord (e=1/500 000), la région de Hassi R'Mel appartient structurellement à la plateforme saharienne. Elle borde la dorsale du M'Zab dans sa partie NW. Les formations géologiques affleurantes dans cette région sont récentes

I.3.1.1.Le Quaternaire

- **Le Quaternaire récent :** Il se présente sous forme d'alluvions, de colluvions de nature variée (sable, argile, tout venant d'oueds, terrasses alluviales, et sable éolien.
- **Le Quaternaire ancien :** Il se manifeste par des encroûtements, des particules gravelo-caillouteuses, de formes anguleuses, témoignant généralement d'un faible transport des éléments sédimentaires.

I.3.1.2.Le Tertiaire :

Ce sont des dépôts carbonatés sub-horizontaux du pliocène non affectés par la tectonique. Cette formation carbonatée est limitée :

- **Au Sud** : Par des formations massives du Crétacé de la Chebka du Mzab à reliefs peu élevés.
- **Au Nord** : par les ébauches de reliefs atlasiques (Atlas saharien).

I.4.La topographie régionale

Du point de vue géomorphologique, la région de Hassi R'Mel se caractérise par sa diversité topographique. On distingue deux zones distinctes qui sont décrites comme suit :

- **Zones à topographie basse** : ce sont des zones d'écoulement des eaux. Les zones basses secondaires se caractérisent par de multiples affluents, et des vallées à fond plat plus ou moins accidenté.
- **Zones à topographie haute** : ce sont principalement des zones montagneuses où on observe des reliefs plus ou moins élevés représentés par des petites collines et des buttes témoins appelées communément « Gours ».

Entre ces deux zones ils existent des plateaux à topographie calme, traversés par des petits cours d'eaux.

I.5.Présentation de l'aérodrome de Hassi R'mel

Parmi les infrastructures les plus importante de la région de Hassi R'mel on trouve l'aérodrome TILGHEMT situé environ 5 km à l'est de la ville de Hassi R'mel dont les coordonnées GPS sont : N32°55'44''E03°18''00''

L'aérodrome TILGHEMT est un aérodrome civil destiné principalement pour le transport des travailleurs du groupe SONATRACH, qui opèrent dans les puits gazier de la région. La fiche technique de cet aérodrome est la suivante :

- **Nom de l'aérodrome** : TILGHEMT Hassi R'mel.
- **Wilaya d'implantation** : Laghouat.
- **Code AITA** : HRM.
- **Code OACI** : DAFH.
- **Classe de l'aérodrome** : 4C
- **Nature juridique** : Civil.
- **Altitude** : 774 m.
- **Longitude** : 003-18-44E.
- **Latitude** : 32-55-48N.
- **Température de référence** :37°c.

I.6.L'historique de l'aérodrome de HASSI R'MEL

L'Aérodrome de hassi r'mel a été mise en service en 1986. Après il a été totalement reconstruit entre 1994 et 1996 par l'entreprise de réalisation SONATRO, il a été remis en service en 1996.

Une opération de traitement des fissures a été faite en 2005 au niveau de la nouvelle piste. Cette opération a permis de prolonger la durée de vie de l'Aéroport.

I.7.Géométrie de l'aérodrome :

L'aérodrome TILGHEMT Hassi R'mel est constitué de :

- Une piste principale (08/26) orientée vers la direction Ouest-Est d'une longueur de 3000m et de largeur de 45m
- Une ancienne piste (en mauvaise état) orientée vers la direction Ouest-Est, parallèle à la piste principale existante
- Une bretelle de 515m sur 45m
- Une aire de stationnement de 200m sur 100m



Figure I.2 Géométrie de l'aérodrome de TILGHEMT

I.8. Climatologie du site

Le climat est un ensemble de données physiques qui, une fois étudié nous permet de mieux armée notre infrastructure de l'aérodrome pour garantir une sécurité optimale pour les usagers de ce dernier lors des manœuvres de décollage et d'atterrissage

I.8.1.La température

La région d'étude (Hassi R'mel) est caractérisée par un climat aride accentué par des températures hautes en été et basses en hiver ; les températures moyennes mensuelles sont de 8 à 31°, en période de forte chaleur (Juillet et Août), la température peut atteindre les 45°, pendant la nuit ces températures descendent à moins de 25°, nous signalons ici que l'écart thermique entre le jour et la nuit exerce des chocs thermique intenses cet écart thermique est sinistre pendant les périodes hivernales dont les quelles les températures peuvent descendre au-delà de 0° ; L'humidité moyenne est de 20% en été et de 34% en hiver.

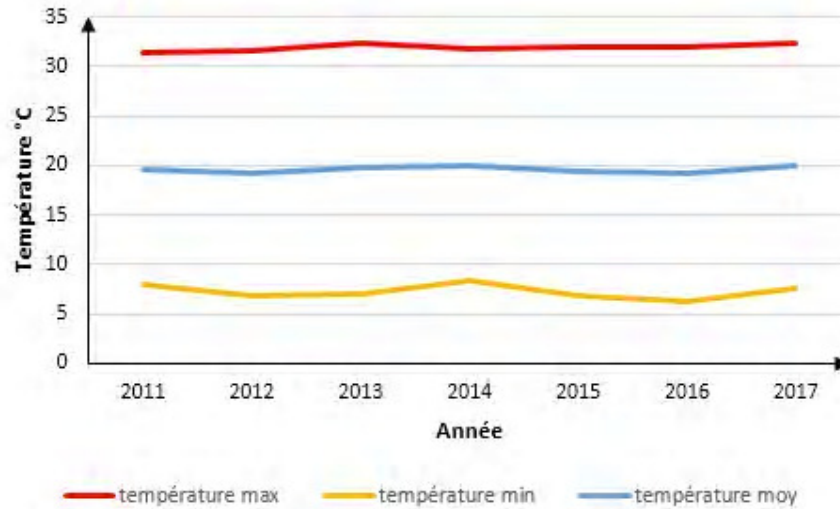


Figure I.3 Présentation de la température moyenne annuelle (en C°)

D'après le graphe précédant (présentation de la température moyenne annuelle) on constate que :

- Température maximale moyenne annuelle : 32.42 °C
- Température maximale du mois le plus chaud : 43.9 °C
- Température minimale moyenne annuelle : 6.3 °C
- Température minimale du mois le plus froid : -5.5 °C

I.8.2.Le vent

Les vents sont très violents soufflent très chaud et très sec pendant les mois de juillet et août à dominance Nord –Est et arrive jusqu'à une vitesse de 80 km/h comme le montre le graphe suivant. Ces vents et lors de son souffle transportent et brassent des quantités énormes de sables

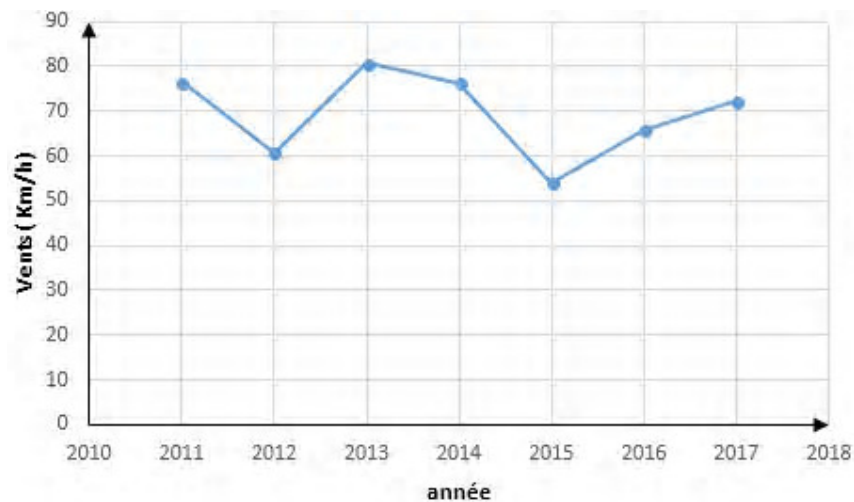


Figure I.4 vents annuel moyen durant la période (2011-2017)

I.8.3.La pluviométrie

La pluviométrie annuelle dans la région de Hassi R'mel est de 124mm, les précipitations survenant fréquemment sous forme d'orages plusieurs fois par année, le mois le plus pluvieux est le mois de Novembre (15mm en moyenne), Juillet est le plus sec (3mm en moyenne annuelle).

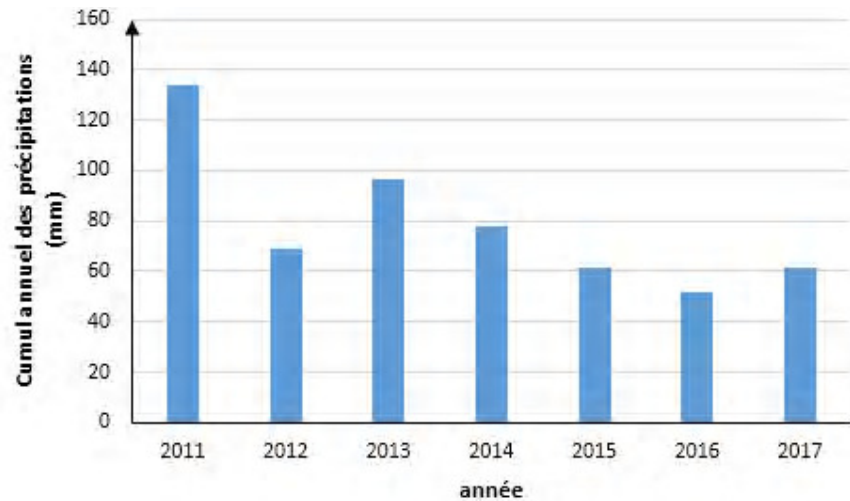


Figure 1.5 Cumul des précipitations annuels durant la période 2011-2017

D'après le graphe précédant on constate que la région de Hassi R'mel présente une faible pluviométrie annuel dans la mesure ou le cumul annuel des précipitations maximal enregistré en 2011 est : 134.16 mm

I.9.Activité sismique

Un séisme est un chargement dynamique infligé au niveau de la fondation d'un ouvrage, et qui peut engendrer des désordres significatifs sur ce dernier, d'où l'importance de connaître les conditions sismiques de la région d'étude.

D'après le CGS et en se basant sur la nouvelle carte de zonage établie en 2003, on constate que notre site d'étude se classe dans la zone I où la sismicité est faible.

I.10.Evolution du trafic aérien

Le trafic, caractérisant le nombre de passage d'avions sur une aire aéronautique, est un paramètre déterminant dans le dimensionnement des structures de chaussée.

Les données du trafic ont été recueillies auprès de l'établissement national de navigation aérienne. Le volume du trafic (tous types d'avions confondus) varie de 2871 jusqu'à 3348 mouvement par ans durant la période 2013 à 2017.

Le graphe suivant montre l'évolution du trafic de l'avion de référence Boeing 737-800 pour les 5 dernières années. On constate que le nombre du trafic est en augmentation exponentiel et arrive jusqu'à 800 mouvement pour l'année 2017.

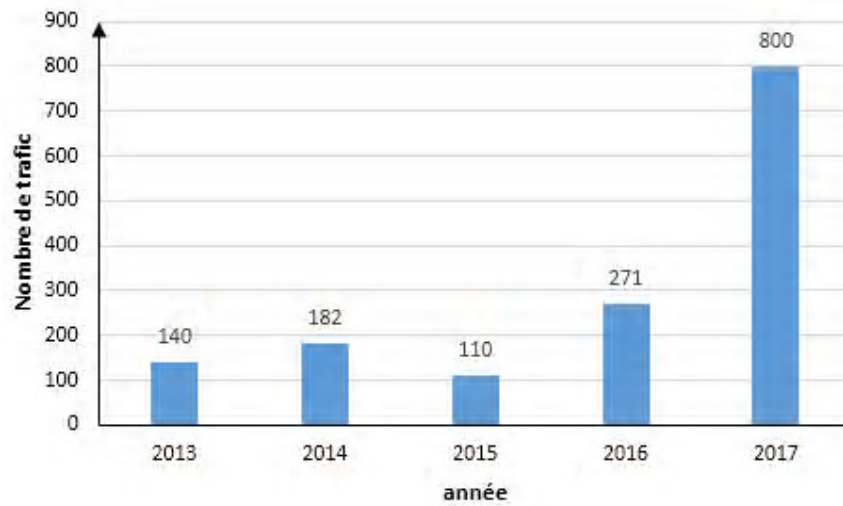


Figure I.6 Evolution du trafic Boeing 737-800 durant la période 2013-2017

I.11.Conclusion

Après avoir présenté la région de HASSI R'MEL et l'aérodrome de TILGHEMT, on abordera dans le prochain chapitre la partie Géotechnique



CHAPITRE II

ETUDE GEOTECHNIQUE

II. Etude géotechnique

II.1. Introduction :

L'étude géotechnique a pour objet d'identifier les sols et d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques de ces derniers. Dans le cadre de l'étude de renforcement d'infrastructure aéroportuaire de l'aérodrome TILGHEM, le laboratoire des travaux publics du sud LTPS a élaboré un rapport d'investigation géotechniques suite à un programme établi par la société Algérienne d'études d'infrastructures SAETI.

II.2. La reconnaissance géologique du sol

La reconnaissance géologique du sol support a été réalisée à la faveur d'opération de sondage, ainsi que par des puits creusés à l'aide d'une pelle mécanique et aussi une campagne géophysique au Géoradar.

II.2.1. Sondage carotté

Six sondages carottés fixés à 2 mètres de profondeur ont été effectués sur terrain, les coupes lithologiques obtenues peuvent se présenter comme suit :

Tableau II.1 Campagne de sondage

Sondage	Coordonnées	Observation
1	X=527989.6009 Y= 3643601.4796	<ul style="list-style-type: none"> – De 0.00 à 0.30 m: Sable fin graveleux à caillouteux (TVR); – De 0.30 à 2.00 m : Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant de blocs rocheux d'ordre décimétrique.
2	X=528643.3881 Y= 3643728.4373	<ul style="list-style-type: none"> – De 0.00 à 0.20 m: Sable fin graveleux à caillouteux (TVR); – De 0.30 à 2.00 m : Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
3	X=529301.4644 Y= 3643833.3077	<ul style="list-style-type: none"> – De 0.00 à 0.05 m: couche noire d'enrobé; – De 0.05 à 2.00 m : Remblai de terrassement repose sur un Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
4	X=529950.9625 Y= 3643982.3528	<ul style="list-style-type: none"> – De 0.00 à 1.50 m: Sable fin limoneux graveleux; – De 1.50 à 2.00 m : Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
5	X=530604.7498 Y= 3644109.3106	<ul style="list-style-type: none"> – De 0.00 à 0.20 m: Sable fin graveleux à caillouteux (TVR); – De 0.30 à 2.00 m : Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
6	X=530931.6434 Y= 3644172.7895	<ul style="list-style-type: none"> – De 0.00 à 0.30 m: Sable fin graveleux à caillouteux (TVR); – De 0.30 à 2.00 m : Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.

II.2.1.Puits

La reconnaissance géologique in situ faite par l'excavation de neuf puits à des profondeurs variable entre 0.20 et 1.20 mètre a montré que le sol support est formé essentiellement d'une dalle calcaire disloquée, intercalée par des passages meubles de nature carbonatée, surmontée par endroit par une couche de sable fin limoneux.

II.2.2.Géoradar

Une prospection géophysique au géoradar a été faite selon trois profils dans le but de confirmer la reconnaissance géologique du site et couvrir toute la superficie du terrain. Les résultats obtenus de cette campagne ont montré que le sol support est constitué d'une formation compacte qui atteint les trois mètre cinquante (3.5m) de profondeur, les films géoradar ont montré la présence des câbles électriques de feu de signalisation et des canalisations au niveau de la bretelle.

II.3.Caractéristiques géotechniques des couches composent le sol support

Des essais en laboratoire ont été réalisés sur des échantillons prélevés du sol support, et cela pour une meilleure connaissance des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques du sol étudié.

- **Encrouement calcaire :** les caractéristiques mécaniques, géotechnique et chimiques de l'encrouement calcaire sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau II.2 Les caractéristique de l'encrouement calcaire

Caractéristique mécanique	Caractéristique géotechnique	Caractéristique chimique
$\gamma_d \text{ max} = 2.24 \text{ t/m}^3$	Un pourcentage de fines (<0.080 mm) allant de 18% à 29%	Des Insolubles de : 34.8% à 78.7 %
$W_{opm} = 12.5 \%$	Un indice de plasticité (IP) de : 24%	Des Sulfates (SO_3^{2-}) = 4.01 %
Cohésion = 0.21 bars	Un Equivalent de Sable de : 23 %	Des Carbonates (CaCO_3) = 17 à 52
Frottement = 37.49 degrés	-	-
$\text{CBR}_{\text{Immédiate}} = 94$	-	-
$\text{CBR}_{\text{Imbibé 4 jours}} = 42$	-	-






- **Sol support rocheux :** pour les dalles calcaires, aucune analyse n'a été effectuée, sachant qu'elles représentent une très bonne assise pour le projet et ne nécessite pas de prendre des précautions spéciales.

II.4.Diagnostic du corps de chaussée existent

II.4.1.compagne de carottage sur le corps de chaussée :

05 carottes ont été effectués sur la piste de l'aérodrome de Hassi R'mel dont le but de vérifier l'épaisseur des constituants du corps de chaussée de la piste à savoir la couche de roulement, la couche de base et de déterminer les profondeurs des fissures. Les résultats fournis par le laboratoire sont les suivants :

Tableau II.3 Compagne de carottage sur la piste

N° Carotte	Epaisseur BB(cm)	Epaisseur GB (cm)	Profondeur de la fissure	Accrochage	Observation
1	7.50	13.0	16.0	Bon	 Fissure transversale
2	8.00	/	/	Mauvais	 Fissure du joint longitudinal
3	8.00	12.5	12	Bon	 Fissure longitudinale
4	7.80	/	/	Mauvais	 Fissure du joint longitudinal
5	8.00	140	/	Bon	 Zone intacte

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

- Toutes les fissures prennent naissance en surface et elles se propagent vers les couches inférieures ;
- L'ampleur des fissures varie entre, Legé, moyen et parfois élevé ; Dans le cas où l'ampleur de la fissure est élevée (généralement au niveau des joints longitudinaux) ; la fissure traverse toute la couche bitumineuse ;
- Les carottes prélevées des zones de faïençage à maille large dénotent que les fissures touchent seulement la couche bitumineuse en BB

II.4.2.la structure du corps de chaussée

La campagne de carottage a permis de mettre en évidence les différentes structures du corps de chaussée de l'aérodrome à savoir :

- Couche de Roulement en BB : 0/14 de 8 cm
- Couche de Base en GB : 0/20 de 12 cm
- Couche de Fondation en GNT : 0/31.5 de 25 cm.

II.4.3.Etude des zones d'emprunts

Deux zones d'emprunts de matériau pour couche de forme et deux autres stations de concassage des agrégats pour la couche de fondation et couches de roulement ont été étudiées par le laboratoire LTPSUD à fin de voir si les matériaux prélevés de ses zones sont conformes à l'exigence de renforcement de l'aérodrome de Hassi R'mel.

II.4.3.1.Matériau pour couche de forme et remblais

➤ **Gîte N°1** : ce gîte est situé juste à côté du projet dont les coordonnées GPS d'un point de ce gîte est 31 S 0530575 3644410

En effet, deux échantillons ont été prélevés et ramenés au laboratoire pour analyse ; les échantillons ont été soumis à l'essai Proctor Modifié, qui compacte ces derniers dans un moule standard, avec une dame normalisée selon un processus bien déterminé, dans le but de définir la teneur en eau optimale qui conduit à la densité sèche maximale, l'essai de la résistance à la compression simple et l'essai de limite d'Atterberg.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.4.Essais effectués sur les matériaux la gîte n°01

Essais d'identification	Essais mécaniques	Essai chimique
Le pourcentage des fines (<0.080 mm) varie de 18 à 31%	$\gamma_d \text{ max} = 1.97 \text{ t/ m}^3$	Les insolubles varient entre 23 et 44%
Le coefficient d'uniformité est de 1.68	$W_{\text{opt}} = 10.5\%$	Les carbonates varient de 50% à 67%
Indices de plasticité (IP) : 35%	R à la compression simple à 98% de O.P.M :32 bars	-
-	R à la compression simple à 100% de O.P.M :36 bars	-

- **Gîte N°2** : Ce gîte est situé juste à côté du projet dont les coordonnées GPS d'un point de ce gîte est 31 S 0529551 3645498. Deux échantillons sont prélevés et subies les mêmes tests et essais que sur le gîte N°1 .

Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau II.5 Essais effectués sur les matériaux la gîte n°01

Essais d'identification	Essais mécaniques	Essai chimique
Le pourcentage des fines (<0.080 mm) est de 25%	$\gamma_d \text{ max} = 1.87 \text{ t/ m}^3$	Les insolubles : 39%
Le coefficient d'uniformité est de 1.35	$W_{\text{opm}} = 12.5\%$	Les carbonates : 53%
Indices de plasticité (IP) : 16%	R à la compression simple à 98% de O.P.M :13 bars	-
-	R à la compression simple à 100% de O.P.M :17 bars	-

A la lumière des résultats obtenue après l'analyse des échantillons prélevés sur les deux gîtes, on conclut que les matériaux présentent :

- Des paramètres de compactage acceptables.
- Une uniformité granulométrique
- Une bonne résistance à la compression simple

II.4.3.2. Matériaux pour couche de base et revêtement

- **Carrière N°1 (station de concassage de l'entreprise GCB Hassi R'mel)** : cette station de concassage est située juste à côté du projet à environ 1 kms dont les coordonnées GPS sont 31 S 0529720 3644641 ; La roche dans cette carrière s'agit d'une roche calcaire dure
- **Carrière N°2 (station de concassage Rocada)** : cette station de concassage est située à Oued Satafa à environ 50 kms du projet ; La roche dans cette carrière s'agit d'une roche calcaire;

Les résultats des essais effectués sur des échantillons prélevés des deux stations sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.6 Résultats des essais effectués sur les deux carrières du sable 0/3

Sable 0/3	ES (à 10% Fines) (%)	<0.08mm (%)	Masse Volumique (t/m ³)	
			Masse volumique absolue	Masse volumique apparente
Carrière N°01	38	27	2.6	1.27
Carrière N°02	42	14	2.64	1.23

Tableau II.7 Résultats des essais effectués sur les deux carrières du gravier

Carrière N°	Classe	AP (%)	LA (%)	MDE (%)	Propriété (%)
01	3/8	26	21	17	1.45
	8/15	23	19	14	0.86
	12	12	18	14	0.51
02	3/8	28	32	18	4.64
	8/15	19	25	20	1.23
	15/25	7	28	26	0.55

D'après les résultats obtenus on conclut que les échantillons prélevés des deux carrières présentent des caractéristiques physico-mécaniques acceptables pour les utilisés comme couche de base et de roulement sur le corps de chaussée de l'aérodrome de Hassi R'mel.

II.5.Conclusion

Le sol support de l'aérodrome de Hassi R'mel est formé essentiellement par une dalle calcaire disloquée, intercalée par des passages meubles de nature carbonatée ; Il présente une bonne portance et ne nécessite pas des précautions spéciales.

Les sondages carottés prélevés sur le corps de chaussées ont révélé que les fissures présentent ne dépassées pas le stade des matériaux traité à savoir le béton bitumineux et la grave bitume



CHAPITRE III

AUSCULTATION DE L'AERODROME DE HASSI R'MEL

III. Auscultation de l'aérodrome de HASSI R'MEL

III.1. Auscultation visuelle

L'auscultation visuelle de la piste d'atterrissage de l'aérodrome de Hassi R'Mel a été effectuée sur les trente mètres centraux de la piste, ou la piste a été divisée en mailles de relevé de (20X30) mètres.

III.1.1. Relevé des dégradations

Les relevés de dégradations montrent que la surface de la piste est affectée généralement par :

- Ouverture de tous les joints d'épandage longitudinaux et transversaux avec des grandes ampleurs.



Figure III.1 Fissures longitudinales et transversales

- Faiençages à maille large et à maille fines localisées au niveau des joints longitudinaux de la bande centrale de la piste



Figure III.2 Faiençages

- Fissures longitudinales au milieu de toutes les bandes d'épandages et transversales réparties sur la totalité de la piste et formant des mailles de dimension d'environ (3x3) m



Figure III.3 Fissures longitudinales sur l'axe de la piste

- Enrobé poreux



Figure III.4 Enrobé poreux

- Départ des matériaux

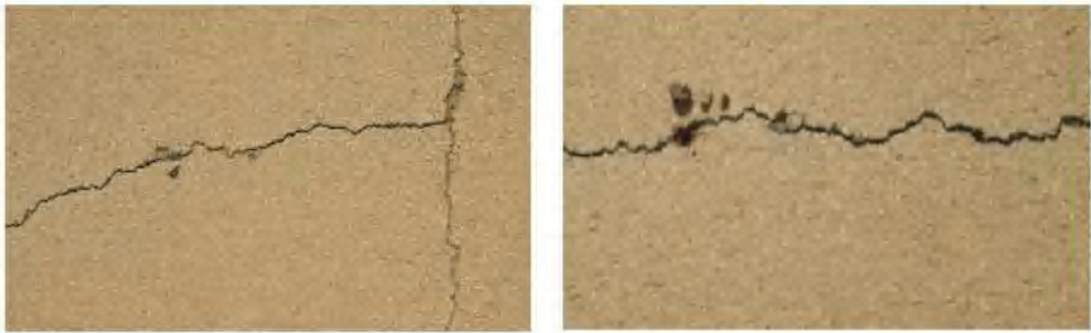


Figure III.5 Départ de matériaux

Il est à noter que les fissures sont colmatées par un lient fluide (ACCOPLASTE), ce dernier fait une étanchéité superficielle sur la fissure, mais comme le colmatage n'a été pas bien fait ou pour autre raison, on voyait sur de nombreuses fissures colmatées l'apparition des nouvelles fissures et surtout l'apparition des plantes qui poussées à l'intérieur de ses derniers.



Figure III.6 Colmatage des fissures existantes

III.1.2.Mesure de l'indice de service IS

Après avoir découpé notre piste en plusieurs mailles (20×30) et pour chaque maille on a identifié les différents types de dégradations avec leurs niveaux de gravité à l'aide d'une fiche voir annexe auscultation

Le relevé de dégradation est complété par le calcul de l'indice de service

L'indice de service a été calculé par le logiciel SGBA qui est un logiciel de traitement des données aéroportuaires.

Indice de service de l'aérodrome de Hassi R'mel est de 49%, ce qui correspond à un niveau de service passable.

III.2.Vérification de l'uni :

La piste présente une chaussée souple avec une longueur de 3000m et de largeur de 45m ; l'origine de toutes les mesures de l'uni est le seuil 08.

Sept (07) profils de control de l'uni ont été réalisés, les profils sont implantés de manière à recouvrir les endroits les plus sollicités.

Tableau III.1 Positions des profils

Positions des profils				
Piste (08/26)	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 porfil	01	02	02	02

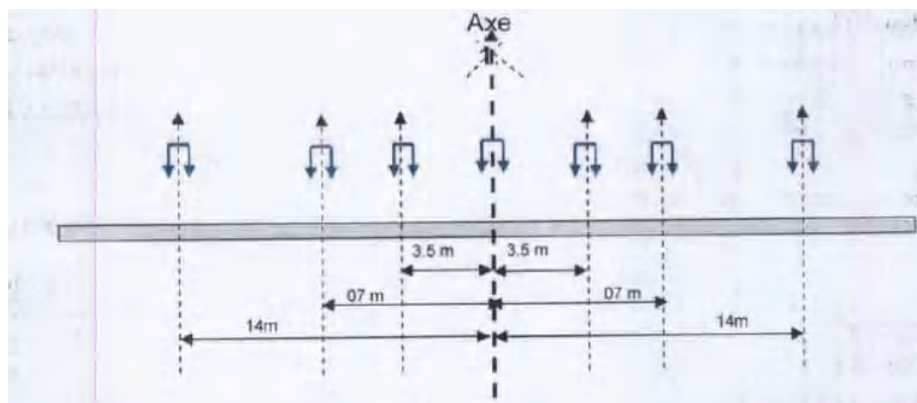


Figure III.7 Positions des profils

Le tableau suivant présente les positions des profils réalisés chaque 1000m et donne les valeurs moyennes d'IRI.

Tableau III.2 Valeurs moyennes IRI

Profils	Piste d'atterrissage (08/26)			
	IRI (0.00 – 1.00km)	IRI (1.00 –2.00 km)	IRI (2.00 – 3.00 km)	IRI moyen (m/km)
Axe	1.98	1.84	1.98	1.93
3.5 d	1.96	2.07	2.03	2.02
3.5 g	2.10	2.08	2.26	2.15
7 d	2.15	1.94	2.03	2.04
7g	2.23	2.28	2.23	2.25
14d	2.4	2.41	2.3	2.37
14 g	2.35	2.43	2.59	2.46

Les valeurs moyenne d'IRI obtenus varient entre 1.93 et 2.46 m/km, avec une moyenne de 2.17 m/km, cette valeur moyenne caractérise dans l'ensemble un état d'uni homogène et acceptable.

III.3.Analyse de la structure de l'aérodrome au HWD

Afin de mieux couvrir les bandes les plus circulées par des mesures de portance, un plan d'intervention a été établi de telle façon à avoir le maximum de mesures dans la bande centrale

III.3.1.Plan d'intervention :

Au totale cinq (05) profils ont été réalisés au niveau de la piste 08/26 en partant du seuil 08 vers le seuil 26. Le nombre total des points mesurés est de 268.

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

Tableau III.3 Positions des profils de l'analyse de HWD

Profils	Position	Intervalle de	Points de
Profil Axe	Axe central de la piste d'atterrissage	50	61
Profil 3.5 D	3.5 ml à droite de l'axe central de la piste	50	61
Profil 3.5 G	3.5 ml à gauche de l'axe central de la piste	50	61
Profil 7D	7 ml à droite de l'axe central de la piste	50	62
Profil 7G	7 ml à gauche de l'axe central de la piste	50	61
Profil 14D	14 ml à droite de l'axe central de la piste	100	31
Profil 14G	14 ml à gauche de l'axe central de la piste	100	31
	TOTAL		368points de mesure

III.3.2.Mesure des déflexions

La déflexion est par définition le fléchissement de la chaussée sous une charge connue mesurée en mode statique ou dynamique, exprimé en unité de longueur (micron de mètre) sous l'effet de la charge exercée par le déflectomètre. Le programme ELMOD 6 (Evaluation of Layer Moduli and Overlay Design) permet le traitement des données par la méthode de calcul inverse (back calculation) et fourni tous les résultats conduisant à l'évaluation de la durée de vie, et le PCN .

Les déflexions moyennes obtenues pour le géophone centrale varient entre 1033 et 1321 μm avec une valeur moyenne de 1170 μm .

Les valeurs de déflexion les plus élevées ont été enregistrées au niveau du profil axe et les deux profils 3.5D et 3.5G, Les courbes des déflexions relatives aux géophones éloignées (D6, D7, D8 et D9) reflètent la présence d'un sol support dure et homogène

Les courbes des déflexions relatives aux géophones proches (D1. D2. D3. D4 et D5) reflètent l'hétérogénéité de la portance des matériaux composant le corps de chaussée et éventuellement la couche de remblai :

La divergence entre les courbes des déflexions relatives aux géophones proches montre la présence des défauts de portance (notamment la station 0,6 et la station 1,2)

N.B tous les résultats obtenus sont dans l'annexe auscultation

III.3.2.1.Calcul du module d'élasticité

Les modules d'élasticité E moyens de la couche bitumineuse varient entre 2098 Mpa et 2812Mpa, avec une moyenne générale égale à 2373 Mpa. On rappelle que ces modules ont été mesurés à des températures d'asphalte comprises entre 25 et 35°C.

Les résultats obtenus montrent que la couche bitumineuse de la chaussée est dans un état critique et nécessite un renforcement voire une remise à neuve de toute la couche de roulement.

N.B tous les résultats sont dans l'annexe auscultation

III.4.Estimation de la durée de vie et des couches de l'aérodrome

Les positions des profils de mesures sont les mêmes positions réalisés pour la vérification de l'uni et mesure de la portance.

N.B. tous les résultats sont dans l'annexe auscultation

Les durées de vie pour la chaussé d'aérodrome de Hassi R'mel à issue de 8000 mouvement par an par l'avion de référence BOEING 737-800 sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 Récapitulatif de l'estimation de la durée de vie de la piste (Durée de vie)

Position	Nombre de stations	« D » durée de vie moyenne (ans)
Axe central de la piste d'atterrissage	61	D= 3.1
3.5 ml à droite de l'axe central de la piste	61	D= 4.3
3.5 ml à gauche de l'axe central de la piste	61	D= 4.0
7 ml à droite de l'axe central de la piste	62	D= 1.8
7 ml à gauche de l'axe central de la piste	61	D= 4.4
14 ml à droite de l'axe central de la piste	31	D= 4.5
14 ml à gauche de l'axe central de la piste	31	D= 4.6
TOTAL		D= 3.81

Pour l'estimation de la durée de vie de la piste, nous proposons d'opter la valeur minimale obtenue pour tous les profils réalisés soit **D=1.8 an**

III.1.Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'évaluer l'état de service des différentes infrastructures de l'aérodrome de TELGHEMT de HASSI R'MEL. On peut conclure que :

- Les dégradations sont superficielles et principalement des fissures longitudinaux et transversaux sur la couche de roulement qui est constituée de béton bitumineux ;
- Il existe plusieurs défauts de portance entre les différentes stations de mesure ;
- La durée de vie restante pour le corps de chaussée existant est estimée à un an et huit mois.



CHAPITRE IV

DIMENSIONNEMENT DE L'AERODROME DE HASSI R'MEL

IV. Dimensionnement de l'aérodrome de HASSI R'MEL

IV.1. Introduction :

Le dimensionnement d'un corps de chaussée neuf pour l'aérodrome TILGHEMT, est une étape cruciale pour l'estimation des épaisseurs de renforcement à rajouter, pour but de rehausser la portance et la durée de vie face à l'accentuation répétitif du trafic des aéronefs.

Nous avons utilisé la méthode forfaitaire pour établir les épaisseurs nécessaires pour le renforcement du corps de chaussée de l'aérodrome TILGHEMT

Les données nécessaires pour le dimensionnement sont :

- L'avion de référence ou l'avion critique
- Masse maximale de l'avion de référence
- Distribution des charges sur l'atterrisseur principale de l'avion référence
- Pression des pneus
- CBR du sol support
- Le nombre de mouvement de l'avion référence sur l'aérodrome par jours

IV.2. L'avion de référence de l'aérodrome

L'avion de référence le plus contraignant de l'aérodrome TILGHEMT est le boeing 737-800, qui présente les caractéristiques suivantes :

- Equipage : 2 pilotes + équipage commercial ;
- Envergure : 34.30 m ;
- Longueur : 39.50 m ;
- Hauteur : 12.50 m ;
- Surface alaire : 124.6 m² ;
- Masse à vide : 41 080 kg ;
- Masse maximale au décollage : 70 530 kg ;
- Distance franchissable : 2930 nm (environ 5420 km) ;
- Vitesse de croisière 450 nœuds – mach 0.78 (environ 844 km/h) ;
- Vitesse maximale : 479 nœuds – mach 0.82 (environ 888 km/h) ;
- Plafond opérationnel : 41 000 ft (environ 12 500m) ;
- Motorisation ; 2 réacteurs CFM45-7B24 de 10 962 kg de poussée ;
- Capacité : 189 passagers.



Figure IV.1 Boeing 737-800

IV.3. Dimensionnement du corps de chaussée avec la méthode forfaitaire

Les données nécessaires pour le dimensionnement :

- Avion de référence : B737-800.
- Masse maximale : $P=79.5$ tonnes.
- Distribution des charges : 46.77%
- Pression des pneus : 1.41 MPA.
- CBR=12.
- Estimation du trafic : $N=10$ mvt /jour.

IV.3.1. Pondération des charges :

➤ Pondération selon la fonction des aires :

La charge supportée par l'atterrisseur principal du Boeing 737-800 est de 46.77% de la charge totale.

La charge réelle $P=79.5 \times 0.4677 = 37.18$ tonnes

La charge réelle P est pondérée une première fois selon la fonction des aires :

$$P' = P \times C$$

Il est a noté que :

- Les chaussées de piste d'envol, de voies de circulation, de bretelles sont dimensionnées avec 100 % de la charge P .
- Les accotements sont dimensionnés par 50% de la charge P et les P.O.R à 70% de P .
- Pour les aires de stationnement (parking civil et fret) sont amenés à une majoration de 120 % de la charge P .

➤ Pondération selon l'intensité moyenne du trafic

La charge réelle pondérée (P') est corrigée en fonction de l'intensité moyenne du trafic (nombre de mouvements par jour)

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

Avec : $CT = 1.2 - \log n$, pour $n=10$ on obtient $CT=1$.

Le tableau suivant résume les résultats de calcul de la charge normal de calcul pour chaque aire.

Tableau IV. 1 Charge normale de calcul pour chaque aire

Charge	Piste, bretelle	Parking	Accotement
Masse max (t)	79.5	79.5	79.5
% de charge sur l'atterrisseur principal	46.77	46.77	46.77
Charge réelle P en (t)	37.18	37.18	37.18
Coefficient de pondération C	1	1.2	0.5
Charge réelle pondérée P'=P×C (t)	37.18	44.62	18.59
CT pour N=10 mvt/jour	1	1	1
Charge normale de calcul P''=P'/CT	37.18	44.61	18.59

IV.3.2.Calcul des épaisseurs équivalentes et réelles

➤ **Calcul de l'épaisseur d'une chaussée neuve**

Les abaques de calcul de l'épaisseur équivalente d'une chaussée neuve relatifs à chaque type d'avion sont déterminés par la formule suivante :

$$e = \sqrt{p''} \left(\frac{1}{0.57 CBR} - \frac{1}{32q} \right)$$

Avec :

- e : Epaisseur équivalente (cm) ;
- P : Charge normale de calcul (kg) ;
- q : Pression des pneus (MPA).

Les épaisseurs équivalentes d'une chaussée neuve sont obtenues pour les différentes aires à partir de l'abaque relatif au Boeing 737-800 (l'abaque est fourni en annexe°)

Tableau IV. 2 Epaisseur équivalente pour chaque aire

	Piste et bretelle	Parking	Accotements
Charge normale de calcul P'' (t)	37.18	44.61	18.59
Epaisseur équivalente pour un CBR=12 (cm)	55	60	32

➤ **Épaisseurs équivalentes minimales des matériaux traités**

Pour assurer le bon comportement des couches supérieures de la chaussée, il est nécessaire d'avoir une épaisseur suffisante des matériaux traités. Cette épaisseur est déterminée à l'aide d'un abaque, fourni en annexe

Tableau IV.3 Epaisseur équivalente minimales des matériaux traités pour chaque aire

	Piste bretelle	/ Parking	accotement
Epaisseur équivalente minimale des matériaux traités	32	34	21

➤ **Épaisseur des chaussées existantes**

La détermination des épaisseurs équivalentes des chaussées existantes tient en compte :

- Des épaisseurs existantes ;
- Des coefficients d'équivalence de chaque couche constituant le corps de chaussée. Ces coefficients d'équivalence sont :

- Pour le béton bitumineux BB

Tableau IV.4 Coefficients d'équivalence pour le béton bitumineux (BB)

Etat	Coefficient d'équivalence
Neuf	2.0
Peu fissuré	1.5
Très fissuré	1.2

- Pour la grave bitumineux GB

Tableau IV.5 Coefficients d'équivalence pour la grave bitume (GB)

Etat	Coefficient d'équivalence
Neuf	1.5
Usé	1.2

- Pour la grave non traité GNT 0/31.5 on adopte un coefficient d'équivalence égale à 0.75

Tableau IV.6 Epaisseur équivalentes des chaussées existantes

Aire	Couche	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)	Epaisseur équivalente totale (cm)	Epaisseur Des matériaux traités (cm)
Piste principale	BB	7.8	1.2	9.36	49	24
	GB	12	1.2	14.4		
	GNT	25	1	25		
Bretelle	BB	7.8	1.5	11.7	55	30
	GB	12	1.5	18		
	GNT	25	1	25		
Parking	BB	7.5	1.2	9	49	24
	GB	12	1.2	14.4		
	GNT	25	1	25		
Accotement	BB	5	1.5	7.5	40	19.5
	GB	8	1.5	12		
	GNT	20	1	20		

IV.4. Proposition d'épaisseur réelles d'une chaussée neuve

Tableau IV.7 épaisseurs réelles pour la méthode direct

Aire	Couche	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)	Epaisseur des matériaux traité (cm)
Piste principale et bretelle	B B	8	2	16	32
	GB	12	1.5	18	
	GNT	28	1	28	
TOTAL		48	-	62	
Parking	BB	8	2	16	34
	GB	14	1.5	21	
	GNT	31	1	31	
TOTAL		53	-	68	
Accotement	BB	8	2	16	22.5
	GB	10	1.5	15	
	GNT	15	1	15	
TOTAL		33	-	46	

IV.5.Proposition d'épaisseur réelles de renforcement

D'après le tableau (IV.6), une chaussée neuve présente une épaisseur équivalente de 55 cm, or sur notre chaussée existante l'épaisseur équivalente est de 39 cm (plus défavorable) ainsi l'épaisseur de renforcement sera la différence des deux épaisseurs qui est de 16 cm.

Nous proposons de faire une couche de roulement :

- **Piste et bretelle** : 8 cm de BB.
- **Parking** : 10 cm de BB
- **Accotement** : 8 cm de BB

IV.5.1.Méthode après fraisage de 8 cm de BB

Tableau IV.8 Epaisseur réelle des aires après un fraisage de 8 cm de BB

Aire	Couche	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)	Epaisseur équivalente totale (cm)	Epaisseur résiduelle Des matériaux traités (cm)
Piste principale	GB	12	1.2	14.4	30	15
	GNT	25	1	15		
Bretelle	GB	12	1.5	18	33	18
	GNT	25	1	15		
Parking	GB	12	1.2	14.4	30	15
	GNT	25	1	18		

D'après le tableau ci-dessus, l'épaisseur équivalente totale résiduelle après fraisage de 8 cm de BB est 30cm, or une chaussée neuve présente une épaisseur équivalente de 55 cm

Nous proposons de faire une épaisseur équivalente de 25 cm constitué d'une épaisseur réelle de :

Piste et bretelle

- 8 cm de BB.
- 10 cm de GB.

Parking

- 10 cm de BB.
- 10cm de GB.

Accotement

- 8 cm de BB

IV.6. Calcul des charges admissibles (méthode ACN/PCN) :

IV.6.1. Détermination de l'ACN

$$ACN = ACN_{min} + (ACN_{max} - ACN_{min}) \times \frac{M - M_{min}}{M_{max} - M_{min}}$$

Avec :

- **ACN_{min}, ACN_{max}** sont les ACN théorique des avions figurant sur les documents de l'OACI et les constructeurs aéronautiques.
- **M_{max} et M_{min}** sont respectivement la masse maximale et minimal servant au calcul des ACN théoriques ; c'est masses représentent la masse de l'avion chargé et la masse de l'avion à vide.
- **M** : masse de l'avion.

Pour trouver la valeur des ACN_{min}, ACN_{max} on utilisera les données suivantes :

- L'avion de référence de l'aérodrome étudié.
- La catégorie du CBR du sol support.

Pour le boeing 737-800 on a :

Tableau IV.9 ACNmin et max du Boeing 737-800 selon l'OACI

	La masse (tonnes)	ACN (classe CBR =B)
B737-800	M _{max} =77	ACN _{max} = 46
	M _{min} =40	ACN _{min} = 21

AN: ACN = 46

IV.6.2. Détermination du PCN

$$PCN = H(CBR) \times RSI$$

Avec :

- **H(CBR)** : coefficient déterminé à l'aide d'un abaque.
- **RSI**= charge maximale admissible en tonne

$$RSI = 6.12 \times \frac{e^2}{1000(4.231 - 5.013 \log \frac{CBR}{q} + 2.426 \left(\log \frac{CBR}{q} \right)^2 - 0.473 \left(\log \frac{CBR}{q} \right)^3)^2}$$

- **e**= l'épaisseur équivalent de la chaussée en (cm)

D'après l'abaque des valeurs du coefficient H(CBR) pour le calcul de PCN approché des chaussée souples on a : H(CBR)=1.7

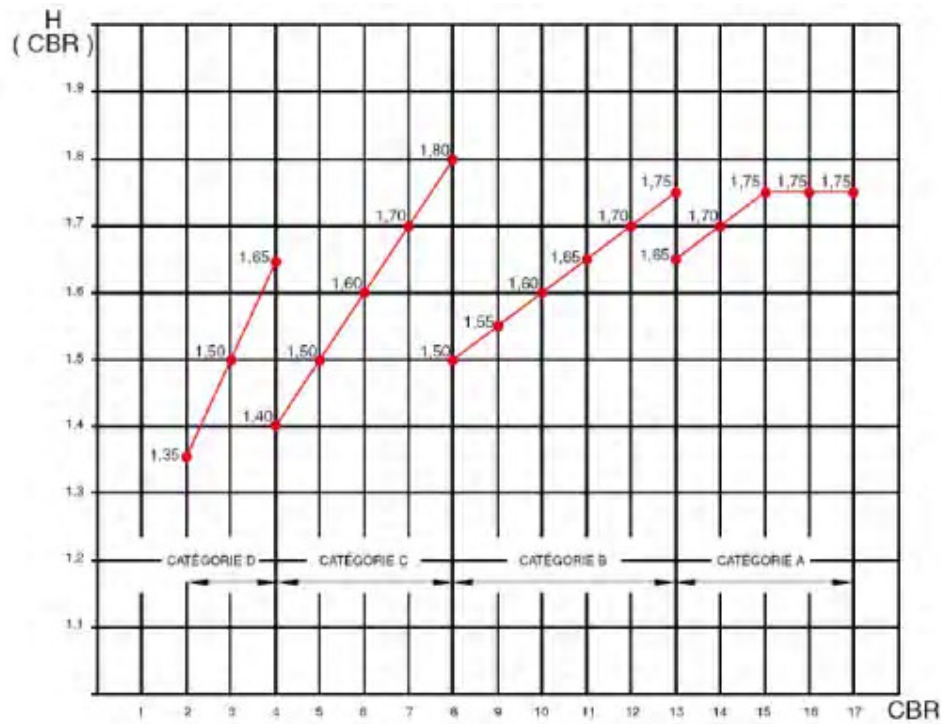


Figure IV.2 Abaque pour déterminer la catégorie du CBR

AN : RSI = 37.26 t

PCN=63.44

IV.6.2.1.Codification du PCN

D'après la codification du PCN on a :

- Chaussée souple : F ;
- Sol support de catégorie : B ;
- Pression de pneumatique : par de limitation de pression donc la lettre de code est W ;
- Evaluation technique : T

Donc le PCN à publier est : **PCN 64/F/B/W/T**

IV.7.Conclusion :

Pour la chaussée de l'aérodrome TILGHEMT on a le $PCN=63 > ACN=4$, ce qui nous mène à conclure que l'avion critique B737-800 pour manœuvrer sur l'aire de l'aérodrome sans aucune restriction.



CHAPITRE V

PROPOSITION DES VARIANTES

V.Proposition des variantes

V.1.Introduction

L'élaboration et le choix d'une variante optimale pour le renforcement de l'aérodrome de Hassi R'mel, nous a guidé à proposer plusieurs solutions adéquates et de les comparer et choisir la meilleure qui soit vis-à-vis des critères exigés.

V.2.Proposition des solutions

V.2.1.Renforcement directe par apport d'une couche de roulement

Cette solution consiste à colmater toutes les fissures et à rajouter au-dessus du corps de chaussée existant, une couche de béton bitumineux d'épaisseur variable, selon l'infrastructure à renforcer.

V.2.1.1.La mise en œuvre

La mise en œuvre de cette solution est la suivante :

➤ Piste et bretelles :

- Traitements des fissures avec nettoyage par un soufflage d'air jusqu'à l'élimination de toute la poussière ;
- Mise en œuvre de deux produits de colmatage des fissures à savoir :
 - BITUME OXYDE pour le fond de la fissure ;
 - ACCOPLASTE pour l'étanchéité et la protection de la fissure.
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) sur 8 cm.

➤ Parking

- Traitements des fissures avec nettoyage par un soufflage d'air jusqu'à l'élimination de toute la poussière ;
- Mise en œuvre de deux produits de colmatage des fissures à savoir :
 - BITUME OXYDE pour le fond de la fissure ;
 - ACCOPLASTE pour l'étanchéité et la protection de la fissure.
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) sur 10 cm.

V.2.2.Renforcement avec scarification de la couche de roulement abimé

Cette méthode consiste à substituer la couche de roulement composée de 8cm de béton bitumineux, et renforcer le corps de chaussée par apport d'une couche de grave bitume et d'une couche de béton bitumineux.

Les épaisseurs des couches de renforcement dépendent la aussi des aires à renforcer.

On propose pour cette méthode de renforcement deux variantes :

- Une variante classique
- Une variante géosynthétique

V.2.2.1. Variante classique

Elle consiste à mettre la couche de grave bitume et du béton bitumineux directement après scarification de la couche de roulement.

La mise en œuvre de cette variante est la suivante :

➤ **Piste et bretelle :**

- Scarification de la totalité de la couche de roulement BB ;
- Nettoyage de la couche GB existante par pression d'air ;
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en place d'une couche de GB (0/20) sur 10 cm ;
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) de 8 cm.

➤ **Parking :**

- Scarification de la totalité de la couche de roulement BB ;
- Nettoyage de la couche GB existante par pression d'air ;
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en place d'une couche de GB (0/20) sur 10 cm ;
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) de 8 cm.

V.2.2.2. Variante synthétique

La variante synthétique a la même conception que la variante classique, la seule différence est le rajout d'un tissu de géogridde HaTelit C40/17 sur les 30 mètres centraux de la piste.

La mise en œuvre de cette solution est la suivante :

➤ **Piste principale :**

- Scarification de la totalité de la couche de roulement BB ;
- Nettoyage de la couche GB existante par pression d'air ;
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en place d'une couche de GB (0/20) sur 10 cm ;
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en place d'une couche de reprofilage de BB (0/10) de 3cm
- **Mise en place de la géogridde sur la couche d'accrochage ;**
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) de 8 cm.

➤ **Parking et les bretelles :**

- La mise en œuvre est la même que celle de la variante classique

V.2.2.3. Caractéristique de la géogridde HaTelit C40/17 utilisée

- Masse surfacique (NF EN 965)230 g/m²
- Matière première du renforcementPVA.

- Matière première du non-tisséPP
- EnductionBitumineuse
- Dimension des mailles de renfort40*40
- Résistance à la rupture (NF EN ISO 10.319)
 - S longitudinal ≥ 50 kN/m
 - S transversal ≥ 50 kN/m
- Résistance à la traction sous 3% d'allongement (NF EN ISO 10.319)
 - S longitudinal ≥ 25 kN/m
 - S transversal ≥ 25 kN/m
- Allongement à la rupture (NF EN ISO 10.319)
 - S longitudinal $\leq 6\%$
 - S transversal $\leq 6\%$
- Rétrécissement à 180° après 15min $\leq 1\%$
- Allongement du au fluage après 2ans sous charge constante (50% de la résistance à la traction) $\leq 1\%$
- Dimension standard
 - Largeur5m
 - Longueur150m

V.3.Analyse multi critères des variantes proposés

L'analyse multi critères des variantes proposées consiste à faire une comparaison entre les différentes solutions proposées vis-à-vis des couts de réalisation et des performances, afin de trancher sur celle qui est le plus optimale entre eux pour le renforcement de l'aérodrome de HASSI R'MEL selon les dégradations des aires de manœuvre à savoir :

- L'ouverture des joints longitudinaux et transversaux ;
- Le faïençage de fatigue du au gradient thermique .

V.3.1.Estimation des couts pour les différentes variantes

➤ Solution1 : renforcement directe

Tableau V.1 devis estimatif du renforcement direct

N° de section	Désignation	Montant DA
1	Installation du chantier et replis du matériel	50 000 000,00
2	Traitement des fissures	6 428 800.00
3	Mise en couche de GB et BB	485 317 380.00
4	Balisage	8 590 000,00
5	Installations annexe de l'aérodrome	7 250 000,00
Total général en HT		577 586 180.00
TVA 19 %		105 941 374.20
Total général TTC		683 527 554.20

CHAPITRE V : PROPOSITION DES VARIANTES

SIX CENT QUATRE-VINGT-TROIS MILLIONS CINQ CENT VINGT-SEPT MILLE CINQ CENT CINQUANTE-QUATRE DINARS ET VINGT CENTIMES.

➤ **Solution 2 : Scarification de la couche de roulement en BB :**

Le volume total à décaper est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau V.2 Volume à décaper pour la variante classique

Chaussée	Epaisseur à fraiser (m)	Volume à décaper (m ³)
Piste principale PP 08/26	0.08	10800
Raquettes de manœuvre	0.08	972
Bretelle	0.08	1100
Parking	0.08	1600
Total		14472 m³

- Variante classique

Tableau V.3 devis estimatif du renforcement de la variante classique

N° de section	Désignation	Montant DA
1	Installation du chantier et replis du matériel	50 000 000,00
2	Travaux de terrassement	11 577 600.00
3	La mise en couche du GB et BB	485 317 380.00
4	Balisage	8 590 000,00
5	Installation annexe de l'aérodrome	7 250 000,00
Total général en HT		562 734 980.00
TVA 19 %		106 919 646.20
Total général TTC		669 654 626.20

SIX CENT SOIXANTE-NEUF MILLIONS SIX CENT CINQUANTE-QUATRE MILLE SIX CENT VINGT-SIX DINARS ET VINGT CENTIMES

- Variante synthétique

Tableau V.4 Estimation du cout de la variante synthétique

N° de section	Désignation	Montant DA
1	Installation du chantier et replis du matériel	50 000 000,00
2	Travaux de terrassement	11 577 600.00
3	Mise en couche de GB et BB	485 317 380.00
4	Mise en place de la géogridde	54 000 000,00
5	Balisage	8 590 000,00

CHAPITRE V : PROPOSITION DES VARIANTES

6	Installations annexes de l'aérodrome	7 250 000,00
Total général en HT		616 734 980.00
TVA 19 %		117 179 646.20
Total général TTC		733 914 626.20

SEPT CENT TRENTE-TROIS MILLIONS NEUF CENT QUATORZE MILLE SIX CENT VINGT-SIX DINARS ET VINGT CENTIMES

V.3.2. Analyse des performances des variantes :

Tableau V. 5 Analyse multicritère

Variante	Durée de vie	Avantages	Inconvénients
Renforcement directe	10 ans	<ul style="list-style-type: none"> -Pose rapide -Pas de terrassement -Facilité d'exécution -Pas besoin d'une couche de reprofilage -Economique 	<ul style="list-style-type: none"> - création des imperfections au niveau de l'uni - création d'autre fissure au niveau du colmatage mal fait
Décapage (Variante classique)	10 ans	<ul style="list-style-type: none"> -Absence de colmatage des fissures -Pose rapide -pas besoin d'une couche de reprofilage 	<ul style="list-style-type: none"> - Travaux de terrassement - Création des imperfections
Décapage (Variante synthétique)	15 ans	<ul style="list-style-type: none"> -Flexible ; -Absence de joints de construction ; -Insonorisant ; - stoppe la remontée des fissures - Augmente la résistance en traction de la couche d'enrobé. - Absorbe une part importante des forces de traction horizontales - Un prolongement de la durée de vie d'au moins 5ans 	<ul style="list-style-type: none"> Entretien onéreux ; -Mauvaise résistance au carburant des avions ; -Cout important

V.4.Choix de la variante

D'après l'analyse multicritère effectuée sur les solutions proposées, le choix de la méthode de renforcement est **le renforcement avec scarification de la couche de roulement sans avoir recours à utiliser une géogridde**, car :

- Les dégradations présentes sur le corps de chaussée de l'aérodrome sont engendrées de haut vers le bas (elles débutent sur la couche de roulement et plongent vers la couche de base), ce qui exclut l'utilisation de la géogridde qui s'oppose aux dégradations qui s'engendrent du bas vers le haut (du sol support vers la couche de roulement) ;
- Le coût de réalisation de cette méthode est moindre par rapport à la méthode du renforcement directe ;
- L'élimination de la totalité des fissures par scarification de la couche de roulement sans avoir recours à un colmatage, ou un garnissage mal élaborés conduit à des créations d'autres fissures.

V.5.Conclusion

Nous avons choisi de renforcer l'aérodrome TILGHEM avec une variante classique, en scarifiant la couche de roulement, et la remplacer avec une couche de grave bitume et une couche de béton bitumineux, car l'aérodrome présente des dégradations superficielles causées principalement par les effets climatiques additionnées à l'accentuation du trafic des avions sur le corps de chaussée.



CHAPITRE VI

CONCEPTION ET ETUDE GEOMETRIQUE

VI.Conception et étude géométrique

VI.1.Introduction

L'étude géométrique est indispensable pour les nouvelles chaussées projetées, et requiert le respect des normes exigées par l'OACI pour permettre aux aéronefs d'effectuer les différentes manœuvres en toute sécurité. Ceci revient à assurer l'uni entre les différentes aires. Les pentes longitudinales et transversales ainsi que les rayons des courbes de raccordement des différentes infrastructures de l'aérodrome TILGHEMPT seront proposés dans ce présent chapitre, tout en respectant les normes indiquées dans l'Annexe 14.

VI.2.Caractéristiques géométriques de l'aérodrome TILGHEMPT

VI.2.1. Piste principale PP 08/26

Tableau VI.1 Caractéristiques géométriques de la piste principale de l'aérodrome de TILGHEMPT

Caractéristiques géométriques	Largeur de la piste	45 m
	Longueur de la piste	3000 m
Profil en long	Pente moyenne (maximale)	1%
	Changement de pente longitudinale (maximum)	1.5%
	Rayon de raccordement	30 000 m
Profil en travers	Pente transversale	1%
Accotement	Largeur des accotements	7.5m
	Pente transversale	1.5%
Raquettes de manœuvre	Pente transversale	1.5 %

VI.2.2.Bretelle

Tableau VI.2 Caractéristiques géométriques de la bretelle

Caractéristiques géométriques	Longueur	150m
	Largeur	25m
Profil en long	Pentes longitudinales	1.5%
	Rayon de courbure minimal	3000m
Profil en travers	Pente transversale	1%
Accotements	Largeur	9.5m
	Pente transversale	1.5%

VI.2.3.Parking

Tableau VI.3 Caractéristiques géométriques de l'aire de stationnement

Caractéristiques géométriques	Longueur	200 m
	Largeur	100 m
Profil en long	Pentes longitudinales (Max)	1%
Accotements	Largeur	9.5 m
	Pente transversale	1.2%

VI.3.La mise en norme de l'aérodrome TILGHEM

D'après la norme établie et exigée par OACI pour permettre aux aéronefs d'effectuer les différentes manœuvres en toute sécurité, l'aérodrome TILGHEM a besoin d'une remise en norme des infrastructures à savoir :

- Création d'une bande de piste qui est destinée à réduire les risques de dommage auxquels est exposé un aéronef qui sort accidentellement de la piste ;
- Création de l'aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA) : destinée à réduire les risques matériels d'un aéronef se posant trop court ou trop long ;
- Prolongement d'arrêt POR (SWY) : qui est un élément essentiel dans le cas où un avion atterrirait trop court ou dépasse la piste ;
- Des bandes sécurisantes de part et d'autre de la bretelle et du parking.

VI.3.1.Création d'une bande de piste

- **Caractéristique physique de la bande de piste**
 - Largeur : 150 m
 - Longueur 3240 m
 - Pente transversale 2.5% sur les premiers 25 m et 3% sur le reste de la surface.
 - Pente longitudinale 1.5% sur tout le long de la surface de la bande de piste.
- **Caractéristique de portance :**

Le sol support qui doit recevoir la bande de piste possède un CBR=12, or que le minimum exigé d'une bande de piste est de CBR=15 jusqu'à 25 m au-delà du prolongement d'arrêt

Donc nous avons envisagé de niveler le sol support et d'ajouter une épaisseur de 20 cm de tuf bien compacté sur :

- 25 m de part et d'autre de la piste principale
- 25 m au-delà du POR

La surface restante sera nivelée et compactée

VI.3.2.Création de le RESA :

- **Caractéristique physique**
 - Longueur : 100m
 - Largeur :90 m
 - Pente transversale :3%
 - Pente longitudinale : 3%

- **Caractéristique de portance**

Le sol support avec CBR=12 présente une bonne portance, donc il faudra juste le niveler et compacter.

VI.3.3.Création des bandes de bretelle et du parking

- **Caractéristique physique**
 - Largeur :4m
 - Pente transversale : 2%
 - Pente longitudinale : 2%
- **Les caractéristiques de portance**

Les caractéristiques mécaniques des bandes de bretelle et du parking sont les mêmes que celle de la bande de piste à savoir renforcement du sol support de 20 cm de tuf

VI.3.4.Création d'un POR (prolongement d'arrêt)

- **Caractéristique physique**
 - Langueur : 60m
 - Largeur :60 m
 - Pente transversale :1%
 - Pente longitudinale :1.5%

VI.3.4.1.Dimensionnement du corps de chaussée du POR

Les prolongements d'arrêt d'une piste d'aérodrome sont dimensionnés à 70% de la charge de l'avion de référence à savoir 70% de la masse maximale du boeing 737-800

1- Calcul de la charge normale

Tableau VI.4 Calcul de la charge normale

Charge	SWY
Masse max au roulage (t)	79.5
% de charge sur l'atterrisseur principale	46.77
Charge réelle P en (t)	37.18
Coefficient de pondération C	0.7
Charge réelle pondérée p'	26.03
Coefficient CT	1
Charge normale de calcul P''	26.03

2- Calcul de l'épaisseur de la chaussée

Tableau VI.5 Calcul de l'épaisseur de la chaussée

SWY	
Charge normale p''	22.03
Epaisseur équivalente pour CBR=12 5(cm)	42

3- Epaisseur équivalente minimale des matériaux traités :

Tableau VI.6 Epaisseur équivalente minimale des matériaux traités

Aire considérée	SWY
Epaisseur équivalente des matériaux traité	24

4- Les épaisseurs réelles du corps de chaussée

Tableau VI.7 Epaisseur réelles du corps de chaussée

aire	couche	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur équivalente (cm)	Epaisseur équivalente des matériaux traités (cm)
SWY	BB	8	2	16	27
	GB	10	1.5	15	
	GNT	20	0.75	15	
TOTAL		38	-	46	

Le corps de chaussée qui constitue le POR est le suivant :

- Couche de roulement : 8 cm de BB
- Couche de base : 10 cm de GB
- Couche de fondation : 20 cm de GNT

N.B. toute la conception sur logiciel est mise sur l'annexe de conception.

VI.4.Conclusion

La mise en norme de l'aérodrome TILGHEM va permettre aux avions de manœuvrer sur toutes les infrastructures en toute sécurité.



CHAPITRE VII

ASSAINISSEMENT

VII.Assainissement

VII.1.Introduction

Les projets d'aménagement des aéroports ont toujours accordé une place importante à l'assainissement, considéré à juste titre comme un élément contribuant à la sécurité de la circulation des avions sur les aires de manœuvre.

En effet, sur une plate-forme aéroportuaire, la présence d'une trop grande quantité d'eau diminue l'adhérence des aéronefs en mouvement, augmente les distances nécessaires à l'atterrissage et au décollage, et compromet la longévité des chaussées.

Pour éviter tous ces problèmes, il est essentiel d'aménager des réseaux d'assainissement pour la collecte et l'évacuation des eaux de ruissellement et la protection des corps de chaussée et de leurs fonds de forme contre les eaux d'infiltration.

VII.2.Assainissement des eaux pluviales

La conception des réseaux d'assainissement des eaux superficielles sur les aéroports est soumise à plusieurs contraintes :

- **D'ordre structurel** : induites par les surfaces à drainer qui doivent respecter certaines normes (profil en long, profil en travers, etc.) ;
- **D'ordre aéronautique** : le réseau doit être conçu dans le souci de la sécurité aérienne (le réseau ne doit notamment pas aggraver le risque aviaire) ;
- **D'ordre environnemental** : liées à la pollution par les hydrocarbures. Pour les aires de manœuvres (pistes et voies de circulation),

Le schéma d'évacuation des eaux de surface est en général le suivant :

- Évacuation des eaux par des fils d'eau (fossé à pente latérale faible) le long de la piste et des voies de circulation ;
- Puis, par des regards avaloirs, évacuation dans un collecteur généralement placé sous le fil d'eau ;
- Déversement des différents collecteurs dans un ou plusieurs émissaires raccordés aux éventuels dispositifs de traitement avant rejet.

Dans certains cas, il peut être nécessaire de procéder à l'évacuation des eaux de ruissellement des surfaces revêtues par des caniveaux à fente ou à grille. Les caniveaux sont utilisés dans les cas de figure suivants :

- Ruissellement important résultant de l'importance des surfaces revêtues ou de la violence des averses ;
- Accotements très sensibles à l'érosion ;
- Importante sensibilité du milieu nécessitant la création d'un réseau étanche.

Pour les aires de stationnement et notamment lorsque plusieurs bassins versants sont en jeu, il est nécessaire de prévoir un assainissement par des caniveaux à fente ou à grille.

VII.3. Drainage des eaux souterraines

Les eaux souterraines comprennent, d'une part, celles d'infiltration, d'autre part, celles provenant de la nappe phréatique.

S'agissant des premières, elles ne peuvent concerner directement les chaussées revêtues que lorsque celles-ci ont été mal conçues ou réalisées. La pénétration des eaux d'infiltration dans le corps d'une chaussée revêtue et dans son sol support peut cependant s'effectuer au travers des accotements :

- soit par infiltration directe des eaux de ruissellement dans les zones non revêtues des dits accotements ;
- soit latéralement, en provenance de fossés mal dégagés ou de zones de stockage non étanchées

Dans ces cas-là, il faut protéger le corps de chaussée en disposant des drains de fondation parallèlement aux bords de la chaussée à protéger. En ce qui concerne la nappe phréatique et dans le cas où elle est proche de la couche supérieure du terrain naturel soit :

- On réalise des drains de défense contre les eaux, parallèlement à la piste, afin que cette dernière ainsi que ces dépendances ne baignent pas dans l'eau. Cette solution permet d'abaisser le niveau de la nappe phréatique et n'est facile que si l'on dispose d'un point d'évacuation des eaux suffisamment bas ;
- On essaye de relever le niveau de la piste et ses dépendances par rapport au terrain naturel par apport de remblais, de manière à faciliter l'écoulement. Cette solution est utilisée lorsqu'on dispose d'une zone d'évacuation dont le niveau est peu inférieur à celui du terrain naturel.

D'après le RRTA, le diamètre des drains est déterminé selon l'importance du débit à évacuer. Leur pente doit être toujours supérieure à 0.15% et leurs longueurs doit être, en règle générale, limitée à 300m pour les petits diamètres et à 400m pour les plus grands.

VII.4. Conséquence d'un réseau d'assainissement mal conçu

La mauvaise conception, ou la mauvaise réalisation du réseau d'assainissement peut provoquer des conséquences dangereuses :

- L'accumulation excessive d'eau sur les chaussées induisant le phénomène d'aquaplanage, par conséquent l'arrêt du trafic aérien ;
- La mise en charge du réseau ;
- La détérioration rapide des chaussées ou la chute de portance que l'excessive teneur en eau du sol support ou de leurs couches constitutives peut entraîner.

VII.5. Assainissement de l'aérodrome TILGHEM

L'aérodrome de HASSI R'MEL se situe dans une zone désertique dont le climat est hyperaride ayant des précipitations de 135 mm pour l'année la plus pluvieuse

Le drainage des eaux est assuré par les dévers, ce qui permet l'évacuation des eaux par infiltration dans le sol sableux ainsi que par évaporation grâce à l'effet de la température.

L'étude géotechnique a montré qu'il n'existe pas de nappe phréatique autour de l'aérodrome (pas d'eau souterrain).

A cet effet, nous avons jugé qu'il n'est pas nécessaire de concevoir un réseau d'assainissement et que les fossés en terre existants sont suffisants.

VII.6.Conclusion

Le climat désertique de la région de HASSI R'MEL et la faible pluviométrie ne nécessite pas l'élaboration d'un réseau d'assainissement neuve sur l'aérodrome car le réseau existant en fossé de terre assure parfaitement le rôle qui est l'évacuation des eaux pluviales

Il faudra faire un entretien du réseau existant, en le nettoyant des grains de sable qui se dépose à cause des vents de sable et d'enlevé toute la végétation qui poussent dedans.



CHAPITRE VIII

BALISAGE ET SIGNALISATION

VIII. Balisage et signalisation

VIII.1. Introduction

Le balisage et signalisation des pistes aéronautiques sont des outils essentiels pour la sécurité des appareils et de leur passager lors du décollage et de l'atterrissage

En général, cet ensemble de balisage est de deux types :

- Balisage et signalisation de jour.
- Balisage et signalisation lumineux.

Ces derniers sont divisés eux-mêmes en deux types :

- Balisage pour utilisation de nuit.
- Balisage pour utilisation par mauvaise visibilité.

VIII.2. Balisage et signalisation de jour

VIII.2.1. Identification de l'aérodrome

Pour faciliter l'identification de l'aérodrome, on inscrit son nom en lettres de 3m de hauteur en peinture blanche. L'endroit de cette inscription est choisi par les autorités exploitantes de l'aérodrome, il est généralement visible dans toutes les directions.

VIII.2.2. Indicateur de la direction des vents

L'indicateur de vent se présente sous forme d'un tronc de cône en tissu, d'une longueur d'au moins égale à 3.6m et de diamètre égale à 0.9m, monté sur une girouette. Sa couleur doit être choisie de façon qu'il soit nettement visible à une hauteur de 300m au-dessus de l'aérodrome (on utilise une combinaison de blanc et de rouge de préférence).

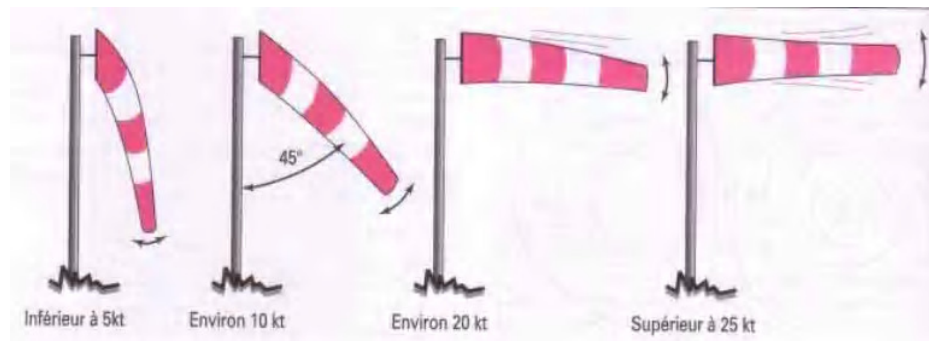


Figure VIII.1 Manche à vent

VIII.2.3. Indicateur de direction d'atterrissage

C'est un indicateur constitué d'un Té mobile au tour d'un axe, dont la barre verticale, indique le sens d'atterrissage que le pilote doit respecter.

Les caractéristiques de ce Té doivent être conformes aux instructions prescrites par les recommandations de l'OACI. Cet indicateur, plus d'autres panneaux de signalisations à caractère aéronautique sont souvent groupés dans une surface appelée aire de signaux.

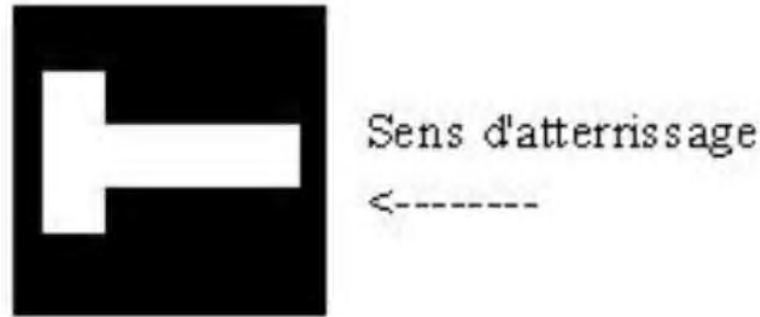


Figure VIII.2 indicateur de direction d'atterrissage

VIII.2.4. Marquage des pistes

VIII.2.4.1. Identification de la piste

La piste comporte à chaque extrémité un numéro en deux chiffres indiquant en dizaines de degrés la direction magnétique de l'axe de la piste.

Pour notre cas, la piste est orientée selon la direction 08/26.

VIII.2.4.2. Axe de piste

L'axe des pistes doit être matérialisé par des marque d'axe de piste constituées par des traits de 30 m de long et 0.90m de large espacée de 30m.

VIII.2.4.3. Délimitation de la piste

Le seuil de la piste est obligatoirement signalé par un marquage constitué par une série de bande longitudinales et parallèles symétriques par rapport à l'axe de la piste et 30 m de long et de 1.8 de large avec un espacement de 1.8m et d'une couleur blanche. Cette série de marque commence à 6 m en aval du seuil.

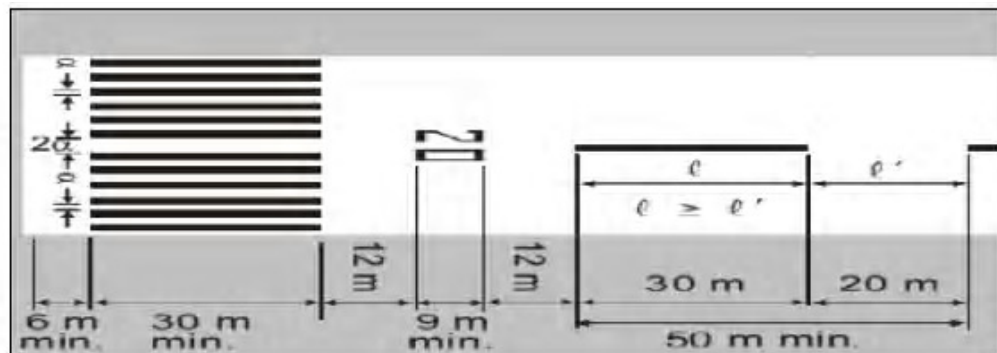


Figure VIII.3 Marquage d'identification de piste

VIII.2.4.4. Marques de zone de toucher des roues :

Les marque de zones de toucher des roues fournissent au pilote les éléments de guidage pour la prise de contact avec la surface de la piste et des indications de distances par rapport au seuil. Ce sont des marques rectangulaires de 22.50m de long et de 1.80m de large, disposées systématiquement de part et d'autre de l'axe de la piste et à une distance de 18m. les marque de zones de toucher de roues commencent à 150m à partir du seuil de piste

VIII.2.4.5. Marques latérales :

Des marques latérales de piste seront disposées entre les deux seuils de chaque piste (avec revêtement), lorsque le contraste entre les bords de la piste et les accotements n'est pas suffisant. Il est recommandé que les marques de piste soient constituées par deux bandes disposées le long des deux bords de la piste, le bord extérieur de chaque bande doit coïncider approximativement avec le bord de la piste. Les marques latérales de piste sont de la longueur de la piste, d'une largeur de 0.9m et d'une couleur blanche.

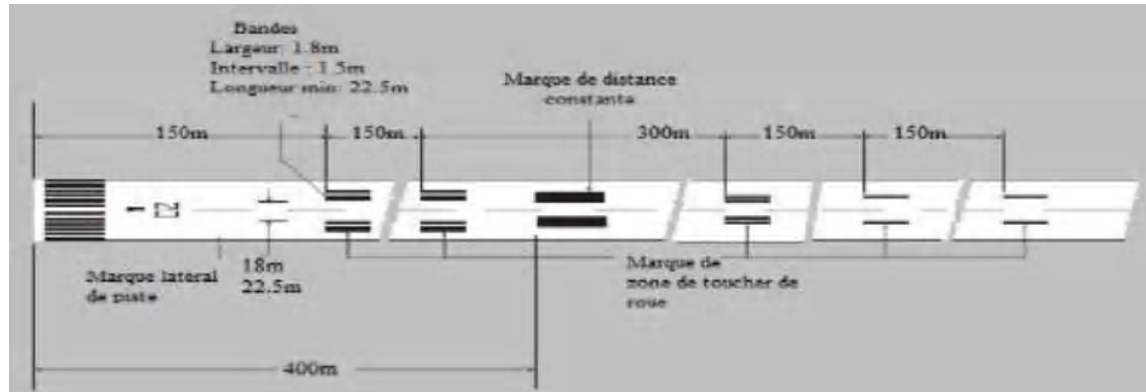


Figure VIII.4 Marques de point cible, de zone de toucher des roues et latérale de la piste.

VIII.3. Balisage et signalisation de nuit

Il est nécessaire de mettre en place toute une infrastructure permettant de reconstituer artificiellement toutes les références visuelles nécessaires aux différentes manœuvres d'approche, d'atterrissage, de circulation au sol et au décollage, sans le moindre risque de confusion. Cette infrastructure consiste à la mise en place d'un système d'éclairage électrique spécial (des feux), les caractéristiques de ce système lumineux sont strictement réglementées par l'OACI.

VIII.3.1. Feux indispensables à l'aérodrome

VIII.3.1.1. Phare d'identification

C'est un phare ayant pour rôle principal, la facilité d'identification de l'aérodrome en vol. Il est situé sur le site de l'aérodrome. C'est un phare émettant un feu vert de haut.

Les dispositifs lumineux à haute intensité sont dotés de moyens de réglage permettant.

VIII.3.1.2. Feux de signalisations de la piste

On distingue généralement cinq types de feux qui sont :

Tableau VIII. 1 Feux de piste

Types de feux	Emploi	Emplacement	Caractéristiques
Feux de seuil de piste	Des feux de seuil de piste seront disposées sur une piste dotée de feux de bords	Comme le seuil de piste coïncide avec l'extrémité de chaque piste, les feux de seuil seront disposés sur une rangé perpendiculaire à l'axe de la piste, aussi près que possible de l'extrémité (de préférence à l'extérieur de la piste à 3m de ses extrémités)	Les feux de seuil sont des feux fixes de couleur verte, unidirectionnels orientés vers la direction d'approche.
Feu d'extrémité de piste	Les feux de seuil sont des feux fixes de couleur verte, unidirectionnels orientés vers la direction d'approche.		
Feux de bords de piste	Ces feux matérialisent les bords latéraux de chaque piste, nécessaire pour le guidage lors de l'atterrissage ou décollage	Disposés sur toute la longueur de la piste, en deux rangés parallèles, équidistante de l'axe de la piste	Constitués par des feux fixes blancs visibles dans tous les azimuts.
Feux d'axe de piste	Pour la matérialisation nocturne de l'axe de la piste	Disposés le long de l'axe de la piste, depuis le seuil jusqu'aux extrémités à intervalles uniformes de 15m	Ce sont des feux fixes de couleur variable le long de la piste : <ul style="list-style-type: none"> • Blanc : de l'extrémité jusqu'à 100m ; • Alterné rouge-blanc entre 900 et 300m de l'aval ; • Rouge entre 300 et l'extrémité de la piste.
Feux de zones de touchée des roues :	Matérialisation des zones de touchée des roues	Commencent au seuil et s'étendent sur une longueur de 900m, l'espacement longitudinal entre deux paires de barrettes est de 300m.	Composés par une barrette comportant au moins 3 feux unidirectionnels de couleur blanche variable, l'intervalle entre ces feux est de 1.5m au maximum.

VIII.3.1.3. Feux de signalisations des voies de circulation

- **Feux axiaux des voies de circulation**

Les feux axiaux de voie de circulation seront installés sur les voies de circulation et sorties de piste, de manière à assurer un guidage continu depuis l'axe de la piste jusqu'au point de l'aire de stationnement ou les aéronefs entament les manœuvres finales de stationnement. Ce sont des feux fixes de couleur verte, visibles seulement par un avion se déplaçant sur les voies de circulation, la distance recommandée entre deux feux successifs est de 30m au maximum.

- **Feux de bords des voies de circulation**

Il est recommandé que des feux de bords des voies de circulation soient installés pour la matérialisation des bords des voies de circulation. Ils sont constitués par des feux fixes de couleur bleue, visibles jusqu'à 30 degrés au moins au-dessus de l'horizon, dans toutes les directions. Les feux de bords seront installés à un intervalle uniforme de 60m, de manière que les limites du virage soient nettement visibles.

- **Les barres d'arrêt**

Les barres d'arrêt doivent être installées au point d'attente de circulation. Elles sont placées en travers de la voie de circulation au point d'arrêt (ou d'attente d'autorisation d'accès à la piste). Ces feux sont disposés au moins à 3m du bord de la voie.

VIII.4. L'usure et entretien des marques

On doit assurer un marquage de qualité, il doit être bien visible, non glissant et résistant à l'usure du trafic.

Il est à noter que :

- Les marques de balisages sont soumises à une usure mécanique due au passage des pneumatiques ;
- Les marques de zone d'impact doivent supporter les chocs au moment d'atterrissages et les élévations de température importantes au moment de la mise en rotation des roues ;
- Les voies de circulation et les bretelles, sont marquées à l'aide de peintures faiblement dosées (400g/m²), pour éviter les risques de faïençage.

VIII.5. Conclusion

Les systèmes d'identification, de marquage et balisage de la piste et ses annexes réalisés doivent satisfaire les normes et spécifications recommandées par l'OACI, dans le but de faciliter le trafic aérien, d'éviter les problèmes de visibilité pour les aéronefs et d'assurer la sécurité des appareils et de leurs passagers.



CHAPITRE X

METRE

IX.Métre

IX.1. Calcul des surfaces

1- Chaussées

Tableau IX.1 Calcul des surfaces des chaussées.

Chaussée	Surface
Piste principale PP 08/26	$3000 \times 45 = 135\,000\ m^2$
Bretelle	$550 \times 25 = 13\,750\ m^2$
Parking	$200 \times 100 = 20\,000\ m^2$
Raquettes de manœuvre	$3 \times 4050 = 12150\ m^2$
RESA	$2 \times 100 \times 90 = 1800\ m^2$
SWY	$2 \times 60 \times 60 = 720\ m^2$

2- Accotements

Tableau IX.2 Calcul des surfaces des accotements

Accotement	Surface
Piste principale PP 08/26	46 283.82 m ²
Bretelle	10 450 m ²
Parking	2 625 m ²

IX.2.Calcul des volumes

1- Fraisage

Tableau IX.3.Volume à fraiser

	0.08	10800
	0.08	972
	0.08	1100
	0.08	1600
		14 472 m³

2- Déblai/ Remblai

A l'aide du logiciel piste (5.0) on a eu les résultats suivants :

Tableau IX.4 Volume déblai/remblai

Chaussée	Volume déblai (m ³)	Volume remblais (m ³)
Piste principale PP 08/26	2 429 77	2 308
Bretelle	248	6 119
Parking	4 296	288
Total	247 521	8 715

IX.3. Quantités des matériaux

1- GNT

Le volume de la grave non traitée nécessaire est de : $0.25 \times 720 = 1800 \text{ m}^3$.

2- Grave bitume

Tableau IX.5 Volume de GB nécessaire.

Aire	Epaisseur GB 0/20 (m)	Volume GB 0/20 (m ³)
Piste principale 08/26 (partie souple)	0.10	13 500
Raquettes de manœuvre	0.10	1 215
Bretelle	0.10	1 375
Prolongements d'arrêt (SWY)	0.15	1 080
Parking	0.10	2 000
Total		19170 m³

La masse volumique du grave bitume est : $\rho = 2.3 \text{ tonnes/m}^3$, donc le poids total nécessaire est de **44 091 tonnes**.

3- Béton bitumineux

Tableau IX.6 Volume de BB nécessaire.

Aire	Epaisseur BB 0/14 (m)	Volume BB 0/14 (m ³)
Piste principale 08/26 (partie souple)	0.08	10 800
Raquettes de manœuvre	0.08	972
Bretelle	0.08	1 100
Prolongements d'arrêt (SWY)	0.08	576
Parking	0.10	2 000
Accotement	0.08	4 965.53
Total		20 413.53 m³

La masse volumique du béton bitumineux est : $\rho = 2.4 \text{ tonnes/m}^3$, donc le poids total nécessaire est **48 992.472 tonnes**

4- Tuf

Tableau IX.7. Volume de tuf

Aire	Epaisseur tuf sélectionné (m)	Volume tuf sélectionné (m ³)
Bande de piste sur (3170×110)	0.02	6 974
Bande raquettes de manœuvre	0.02	243
Bande de Bretelle	0.02	100
Parking	0.02	20

5- Couche d'accrochage en émulsion cationique :

La couche d'accrochage sera dosée à 1.2kg/m².

Le poids de l'émulsion cationique nécessaire sera donc :

$$240\ 978.82 \times 1.2 = 289\ 174.584\ kg$$

6- Marquage des chaussées :

Pour la peinture blanche : 20 000 m²

Pour la peinture jaune : 750 m²

Pour la peinture rouge : 3 × 25 = 75 m²

7- Produit anti-Kérosène pour le parking :

Pour chaque poste on a une surface de 1640m², donc pour 03 postes on aura :

$$1640 \times 3 = 4920\ m^2$$

IX.4. Devis quantitatif et estimatif

Tableau X.8 Devis quantitatif et estimatif

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (H.T)
Section 1 : Installation du chantier et replis du matériel				
Installation de chantier et amené de matériel	Forfait	1	25 000 000,00	25 000 000,00
Démontage et repli des installations de chantier	Forfait	1	10 000 000,00	10 000 000,00
Sous total 01				35 000 000,00
Section 2 : Travaux préparatoires et terrassements				
Déblais	M ³	247 521	400,00	99 008 400,00
Remblais d'emprunt	M ³	8 715	800,00	6 972 000,00
Sous total 02				105 980 400,00
Section 3 : Exécution des chaussées souples et accotements				
Couche de grave non traitée	M ³	1 800	2 000,00	3 600 600,00
Couche de base en GB 0/20	Tonne	44 091	5100,00	224 864 100,00
Couche de roulement en BB 0/14	Tonne	48 992,47	6000,00	291 881 280,00
Couche de tuf sélectionné	M ³	7337	800,00	5 869 600,00
Couche d'accrochage en émulsion cationique	Tonne	217,944	66000,00	14 384 304,00
Sous total 03				542 612 844,00
Section 4 : Balisage				
Peinture blanche	M ²	20000	400,00	8 000 000,00
Peinture jaune	M ²	750	600,00	450 000,00
Peinture rouge	M ²	75	700,00	52 500,00
Sous total 04				8 502 500,00
Section 5 : Traitement des surfaces				
Couche de protection anti-Kérosène	M ²	4920	500,00	2 460 000,00
Sous total 05				2 460 000,00
TOTAL GENERAL EN HORS TAXES				694 616 296,00
TVA 19%				131 977 097,00
TOTAL GENERAL T.T.C				826 593 393,00

Huit cent vingt-six millions cinq cent quatre-vingt-treize mille trois cent quatre-vingt-treize dinars

CONCLUSION GENERALE

Le renforcement d'un aéroport nécessite généralement une attention particulière axer sur les données existantes tel que : le climat, le trafic, l'auscultation, l'importance de l'aéroport.

Après une étude détaillée de notre projet qui porte sur les aire de manoeuvres de l'aéroport de Hassi R'MEL, et vu l'importance de cette infrastructure pour le transport des travailleurs et employés de SONATRACH, nous sommes arrivés à conclure que l'aéroport TILGHEM nécessite un renforcement afin qu'il soit plus opérationnel et performant

Notre passage autant que stagiaire à HASSI R'MEL nous a permis de lier la théorie à la pratique, d'élargir nos connaissances en ce qui concerne les chaussées aéronautiques souples et les différentes techniques de mise en œuvre ainsi d'apprendre comment faire face aux contraintes et problèmes rencontrés

Enfin, notre projet de fin d'étude a été une opportunité pour nous de bénéficier des connaissances et expériences des cadres ENNA, SAETI, et d'apprendre la méthodologie rationnelle à suivre pour l'élaboration d'un projet de travaux publics.

BIBLIOGRAPHIE

- L'OACI, annexe 14 volume 1 conception et exploitation technique des aéroports, Canada sixième édition 2013
- STAC, catégorie de dégradation deuxième éditions 2007.
- STAC, méthode indice de service 2003.
- STBA, dimensionnement des chaussées volume 1 et 2 1983.
- RRTA, recueil des recommandations techniques de l'aéroport CTPP.
- Conception, construction et gestion des aéroports de G. MEUNIER.
- Cours base aérienne (ENSTP), par : MR FERRAT.
- Rapport géotechnique de l'aéroport de HASSI R'MEL fait par LTP SUD.
- Thèse. Etude d'auscultation de renforcement de l'aéroport de TIMIMOUNE par le HWD de, ENSTP, promotion 2017.
- Thèse. Etude de renforcement de l'aéroport d'Adrar avec intégration des bords en béton et géotextiles, ENSTP, promotion 2008.



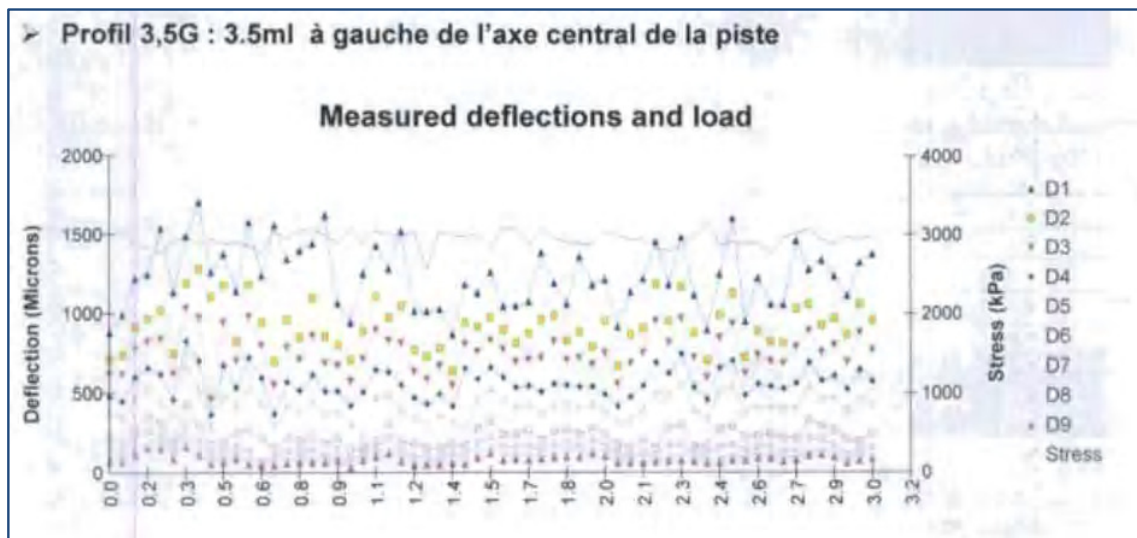
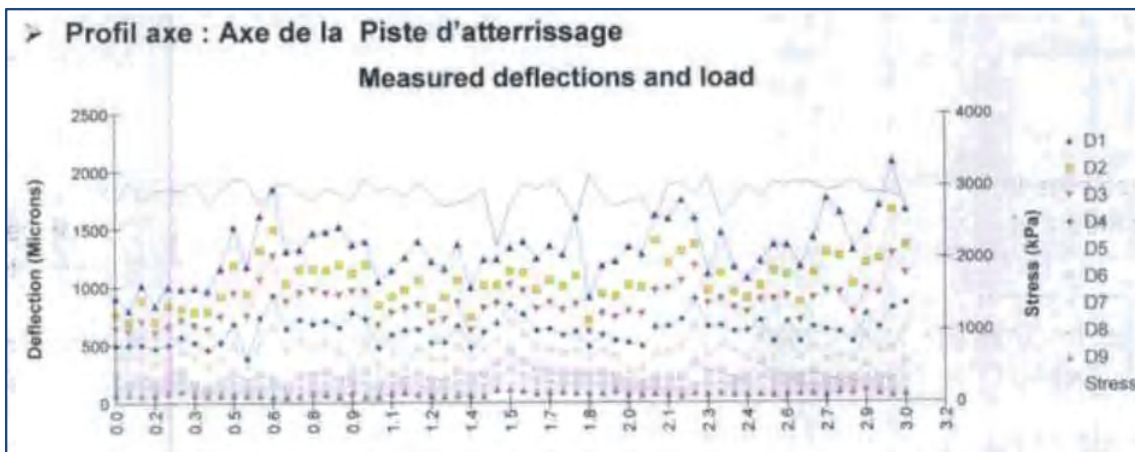
ANNEXE I

AUSCULTATION

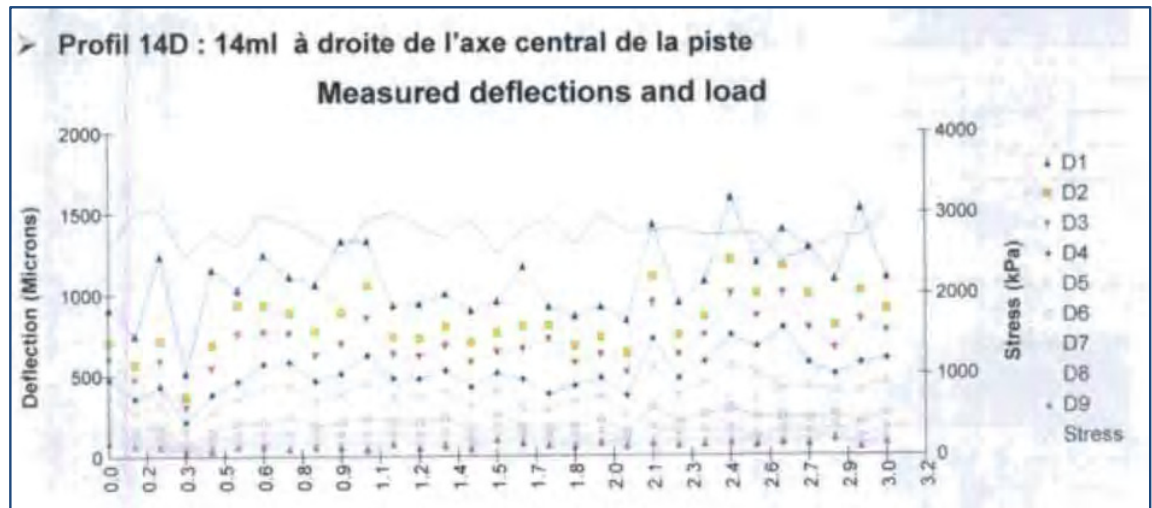
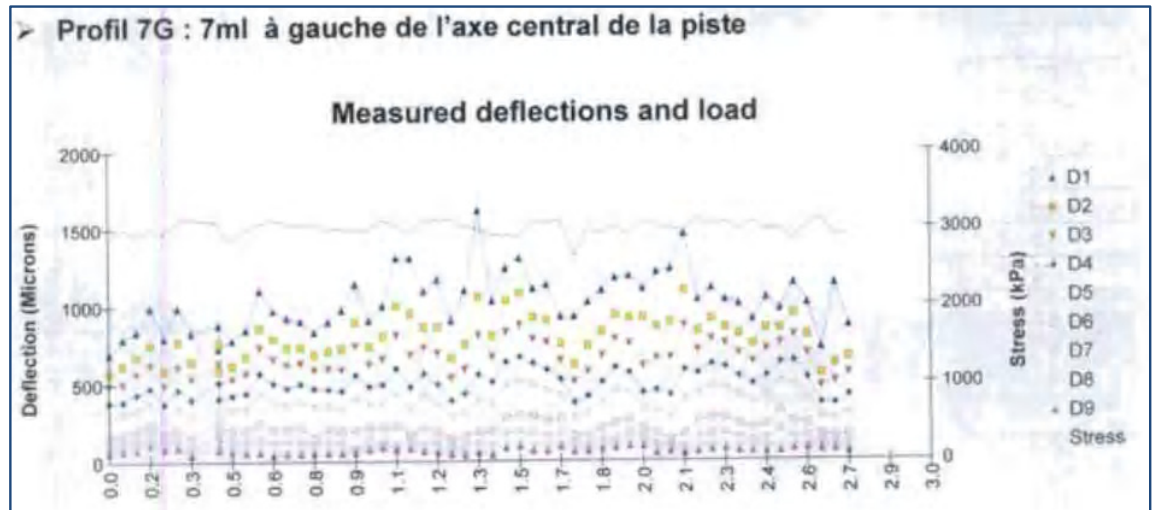
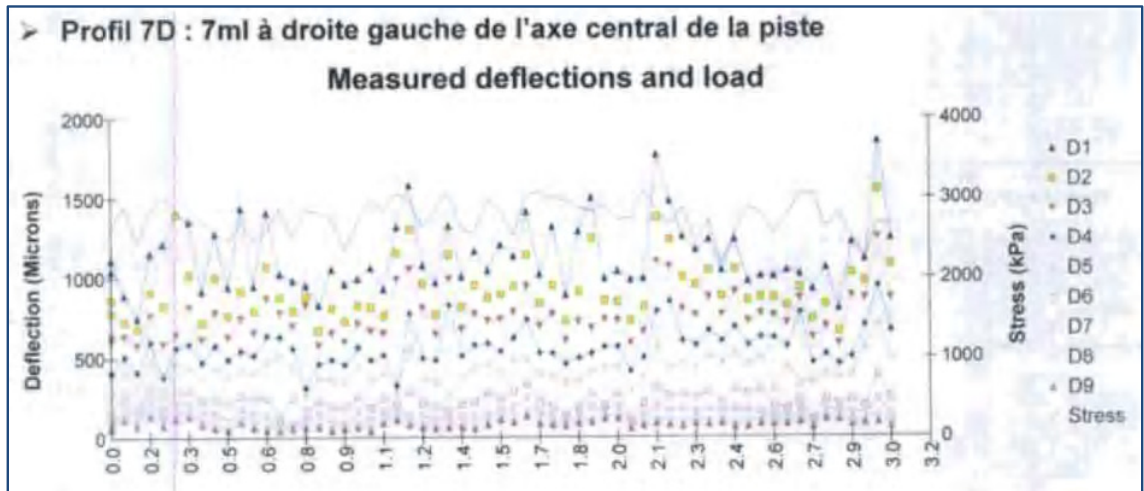
Fiche de relevé de chaussée souple

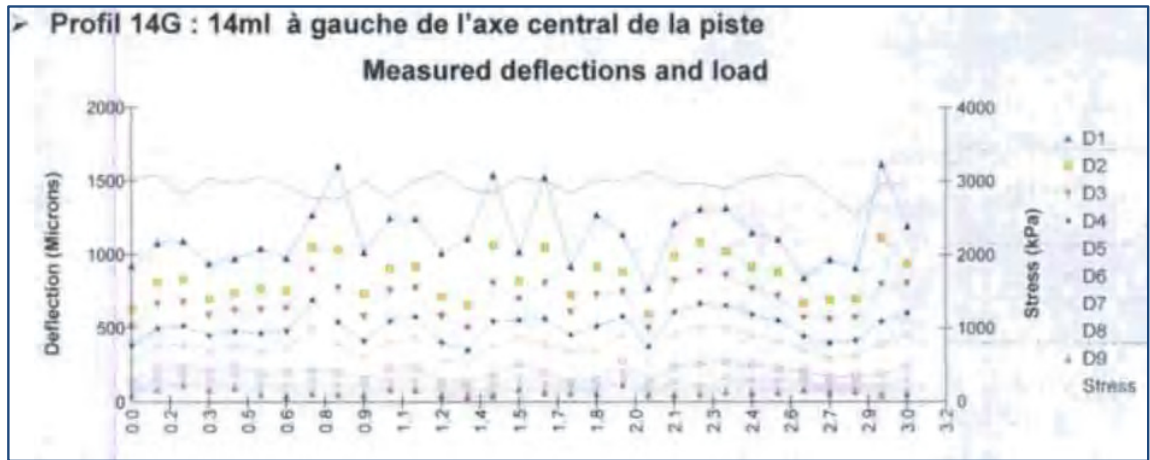
Fiche de relevé (chaussée souple)															
N° de la maille			1	2	3	4	5	Date de relevé :							
1	Flache	M ₂	L					Nom de l'observateur :	Date de relevé :						
			M				Nom de l'aérodrome :								
			E				Nom de l'aire de mouvement :								
2	Ornière/frayée	M ₂	L					N° de Section :	du PM	au PM					
			M				Nombre de passage de finisseurs :								
			E				Longueur X largeur de la maille :								
3	Fissure de fatigue	M ₁	L					N° de la maille							
			M					1	2	3	4	5			
			E												
4	Faïençage de fatigue	M ₂	L					1	Déformation en W	M ₂	L				
			M								M				
			E								E				
5	Désenrobage Bruhure Pelade	M ₂	L					1	Gonflement /Bourrelet	M ₂	L				
			M								M				
			E								E				
6	Fissure de joint	M ₁	L					1	Tassement différentiel Marche	m	L				
			M								M				
			E								E				
7	Fissure de retrait	M ₁	L					1	Nid de poule	U					
			M												
			E												
8	Faïençage de retrait	M ₂	L					1	Contamination/souillure	M ²					
			M												
			E												
9	Réparation ponctuelle dégradée	M ₂	L					1	Dépôt de gomme	M ²					
			M												
			E												
10	Fissure parabolique	M ₁	L					1	Empreinte/poinçonnement	M ₂	L				
			M								M				
			E								E				
			L					1	Enrobé poreux	M ²					
			M												
			E												
			L					1	Remontée d'eau	M ²					
			M												
			E												
			L					2	Remontée de fine	M ²					
			M												
			E												
			L					2	Ressuage	M ²					
			M												
			E												

Graphe des déflexions

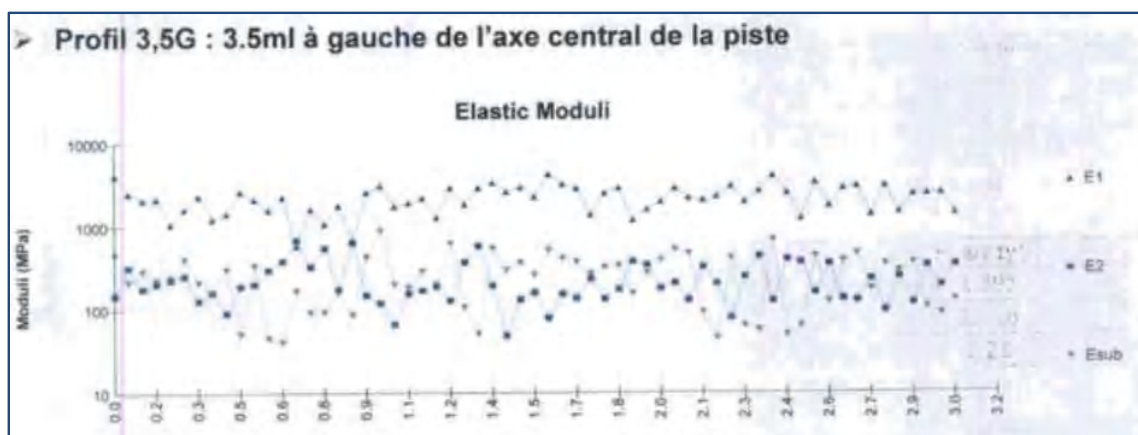
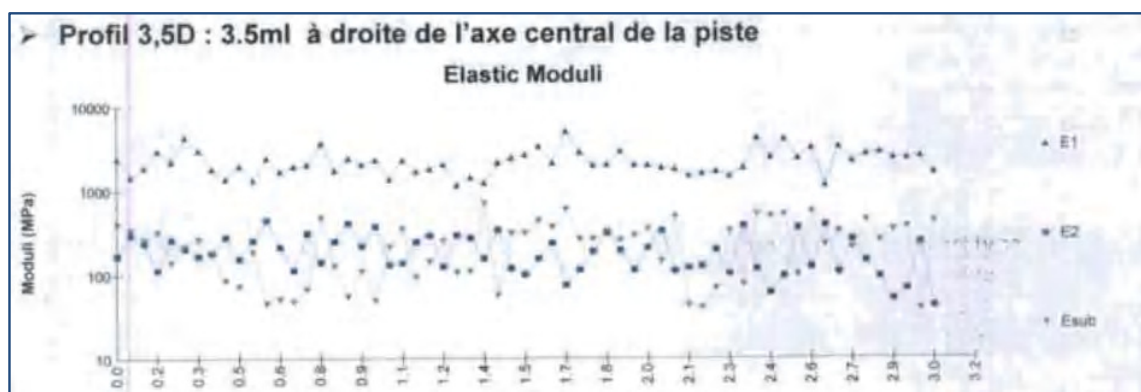
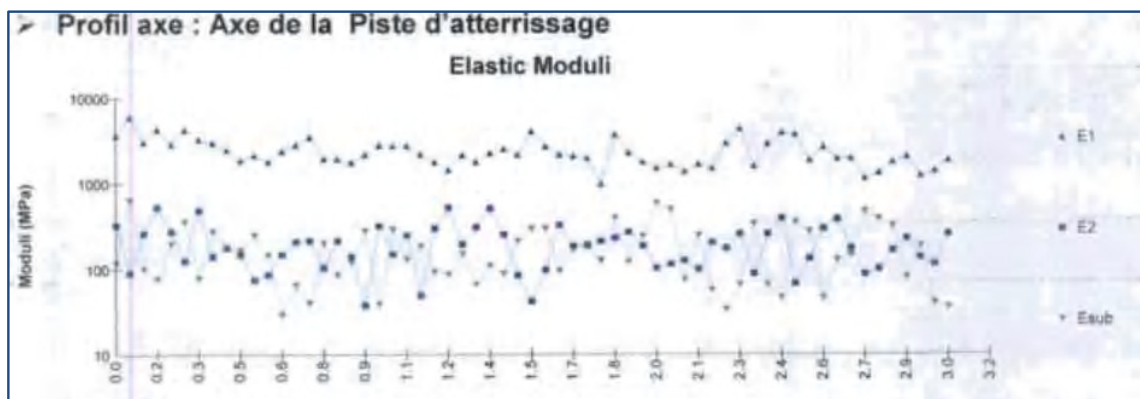


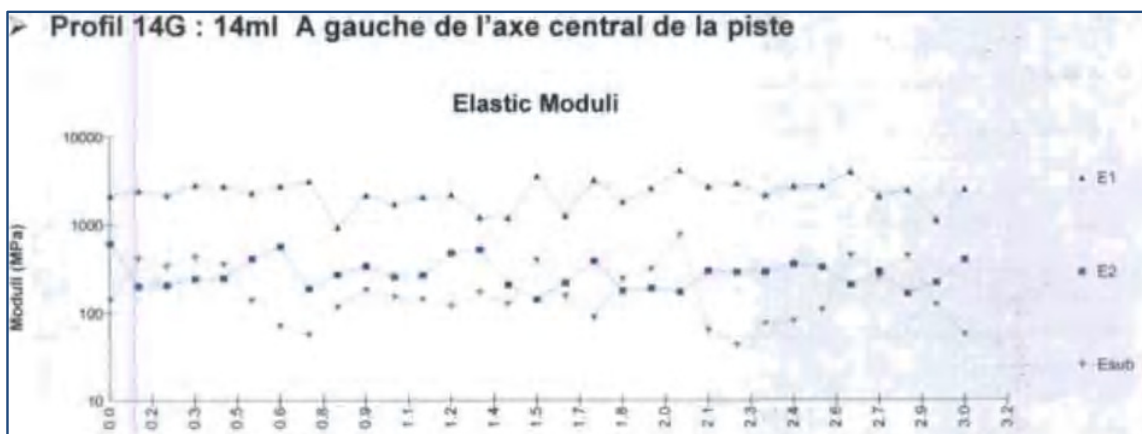
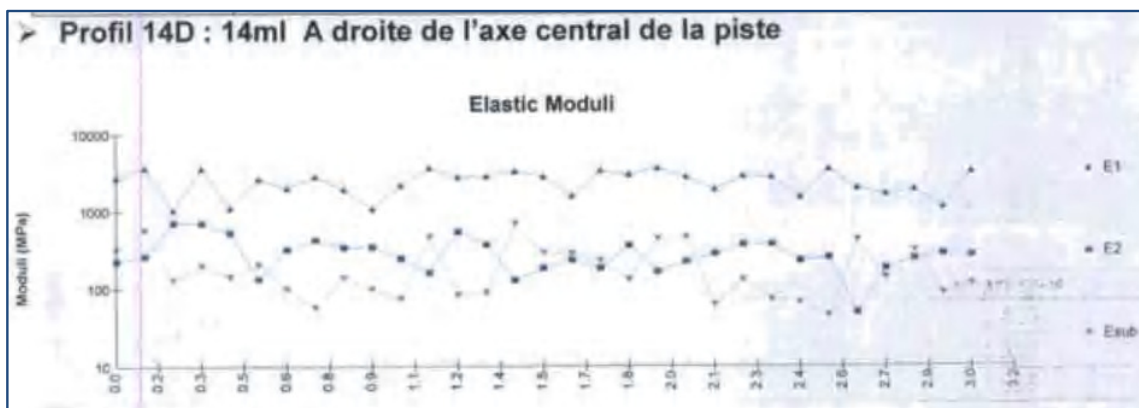
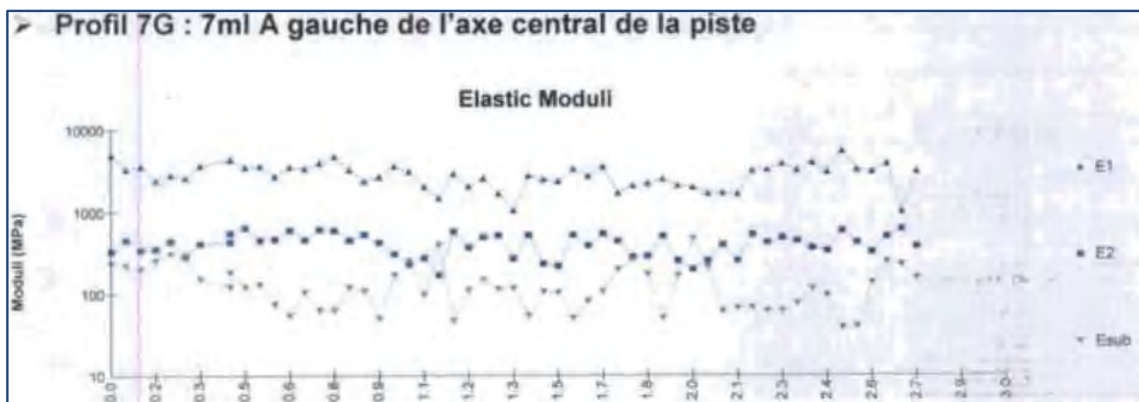
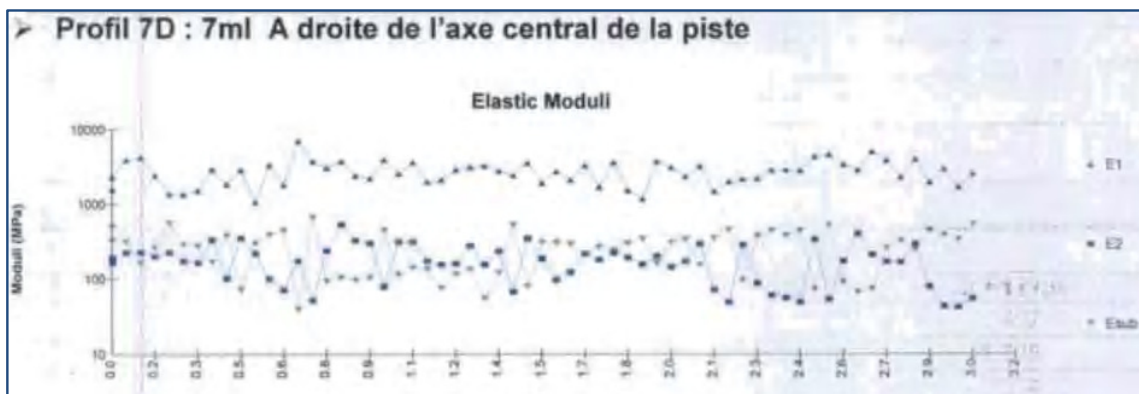
ANNEXE I : AUSCULTATION





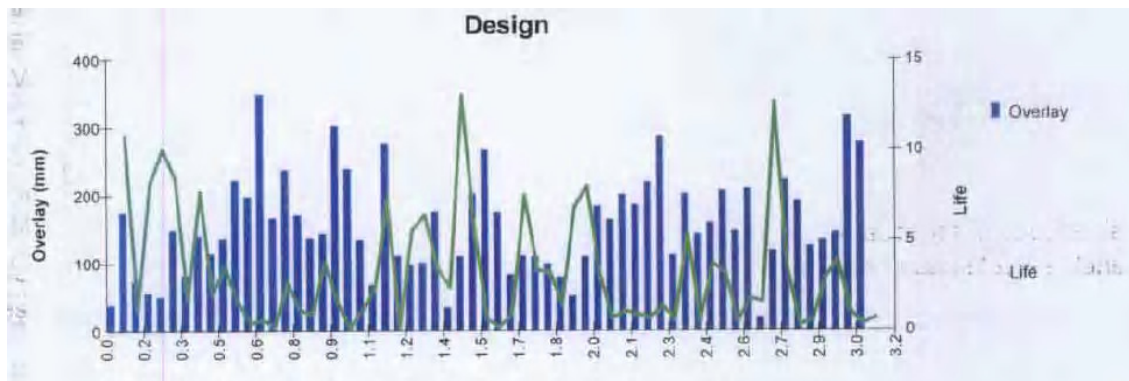
Graphe des modules d'élasticités



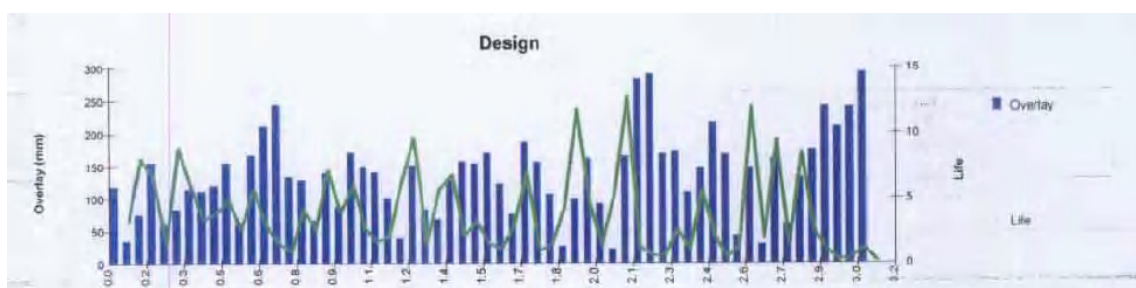


Graphe d'estimation de durée de vie

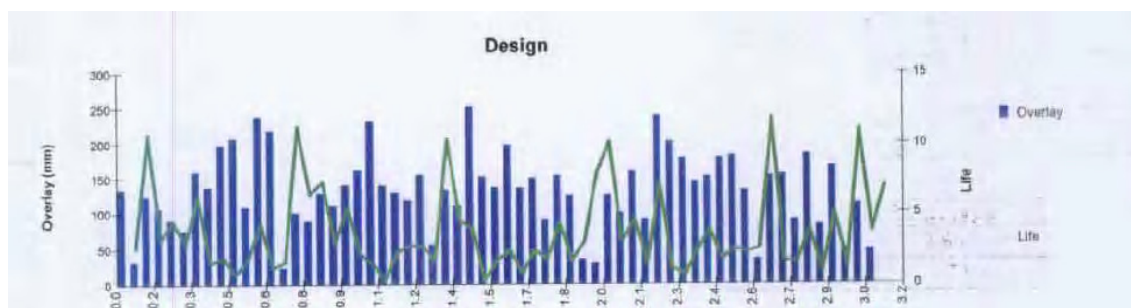
- **Profil axe** : axe de la piste d'atterrissage



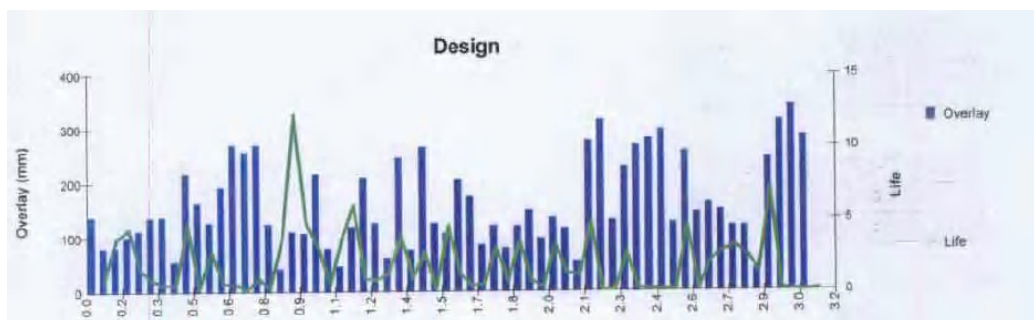
- **Profil 3.5D** : 3.5 m à droite de l'axe principale de la piste



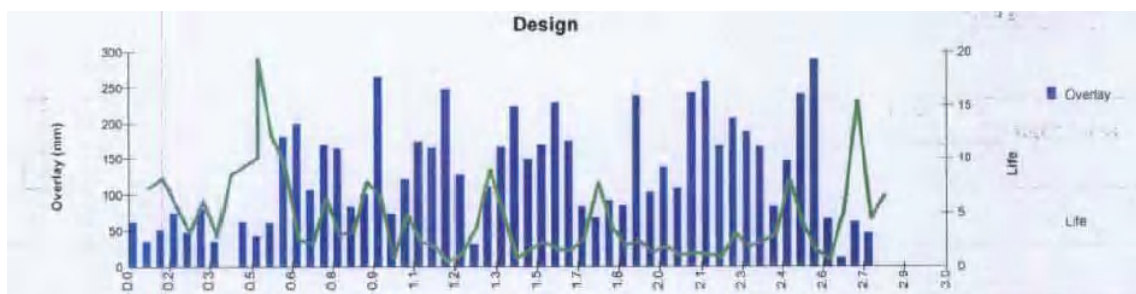
- **Profil 3.5G** : 3.5 m à gauche de l'axe principale de la piste



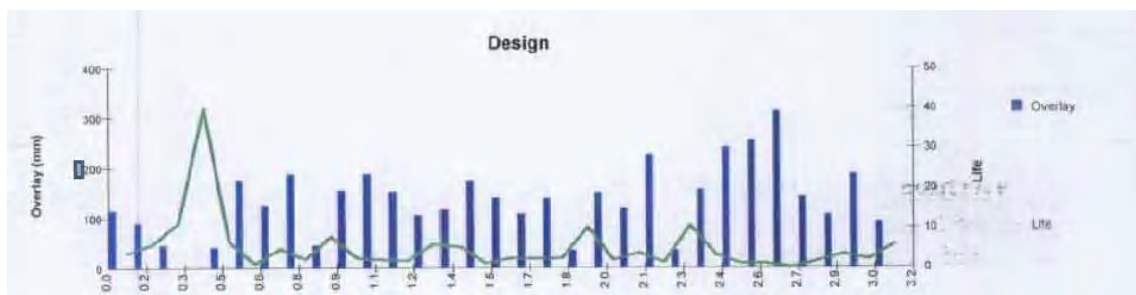
- **Profil 7D** : profil 7m à droite de l'axe principale de la piste



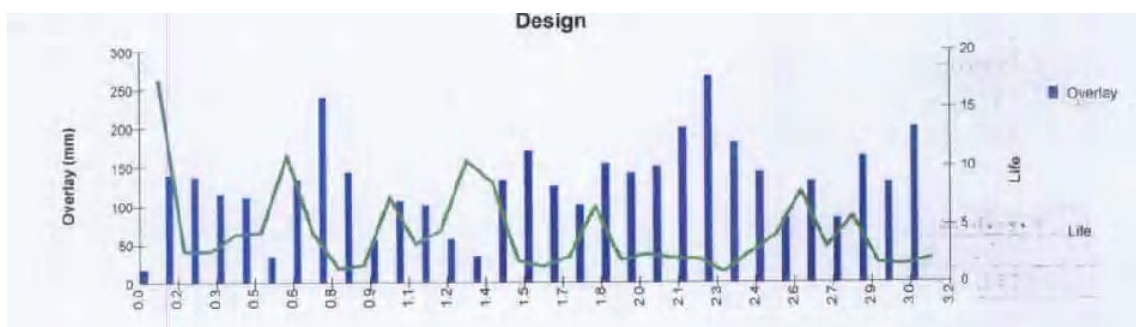
- **Profil 7G** : profil 7m à gauche de l'axe principale de la piste



- **Profil 14D** : 14m à droite de l'axe principale de la piste



- **Profil 14G** : 14m à gauche de l'axe principale de la piste

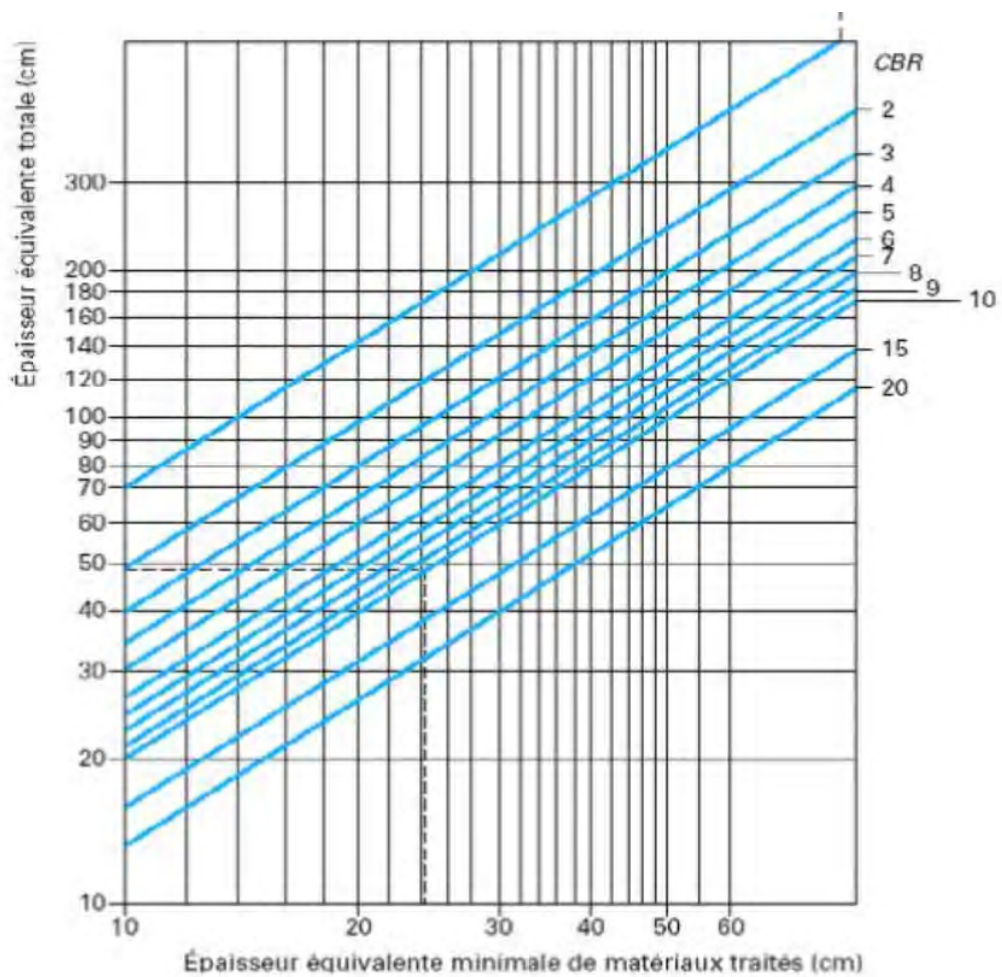




ANNEXE II

DIMENSIONNEMENT

Abaque de détermination des épaisseurs équivalentes minimales des matériaux traités





ANNEXE III

CONCEPTION

Profil en travers

- Bretelle

Le 31/05/2018 à 00:37 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 1504
 F:\HASSIR~1\piste\TABBRE~1.PIS

PROFIL EN LONG

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	761.460
D1	PENTE= -1.000 %	22.498		
			22.498	761.235
PR1	S= 22.5081 Z= 761.2350 R = 1.00	0.004		
			22.502	761.235
D2	PENTE= -0.626 %	25.774		
			48.276	761.074
PR2	S= 70.1829 Z= 761.0051 R = 3500.00	62.842		
			111.118	761.244
D3	PENTE= 1.170 %	99.676		
			210.794	762.410
PR3	S= 561.6703 Z= 764.4622 R = -30000.00	75.098		
			285.892	763.195
D4	PENTE= 0.919 %	230.930		
			516.822	765.317
R4	S= 516.8314 Z= 765.3175 R = -1.00	0.004		
			516.826	765.318
D5	PENTE= 0.500 %	12.498		
			529.324	765.380
LONGUEUR DE L'AXE 529.324				

ANNEXE III : CONCEPTION

- Piste principale

Le 31/05/2018 à 16:21 — PISTE 5.05 — Licence n° 1504

C:\Users\LOUNIC\I\Desktop\hassi r mel\piste\tab.PIS

PROFIL EN LONG

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	758.459
D1	PENTE= -0.034 %	219.998		
			219.998	758.385
PR1	S= 219.9978 Z= 758.3847 R = -1.00	0.004		
			220.002	758.385
D2	PENTE= -0.455 %	244.533		
			464.535	757.271
PR2	S= 737.7267 Z= 756.6493 R = 60000.00	318.830		
			781.365	756.665
D3	PENTE= 0.073 %	423.121		
			1204.486	756.973
PR3	S= 1168.1210 Z= 756.9597 R = 50000.00	42.173		
			1246.659	757.021
D4	PENTE= 0.157 %	173.373		
			1420.032	757.294
PR4	S= 1341.4937 Z= 757.2320 R = 50000.00	41.892		
			1461.924	757.377
D5	PENTE= 0.241 %	503.210		
			1965.133	758.589
PR5	S= 1748.3596 Z= 758.3280 R = 90000.00	40.438		
			2005.572	758.696
D6	PENTE= 0.286 %	232.619		
			2238.191	759.360
PR6	S= 1980.9790 Z= 758.9928 R = 90000.00	259.365		
			2497.556	760.475
D7	PENTE= 0.574 %	118.467		
			2616.022	761.155
PR7	S= 1927.2533 Z= 759.1786 R = 120000.00	116.897		
			2732.919	761.883
D8	PENTE= 0.671 %	422.938		
			3155.857	764.723
PR10	S= 3491.5511 Z= 765.8496 R = -50000.00	55.658		
			3211.515	765.065
D9	PENTE= 0.560 %	68.482		
			3279.997	765.449
PR11	S= 3280.0024 Z= 765.4490 R = -1.00	0.007		
			3280.004	765.449
D10	PENTE= -0.112 %	159.996		
			3440.000	765.269
LONGUEUR DE L'AXE 3440.000				

ANNEXE III : CONCEPTION

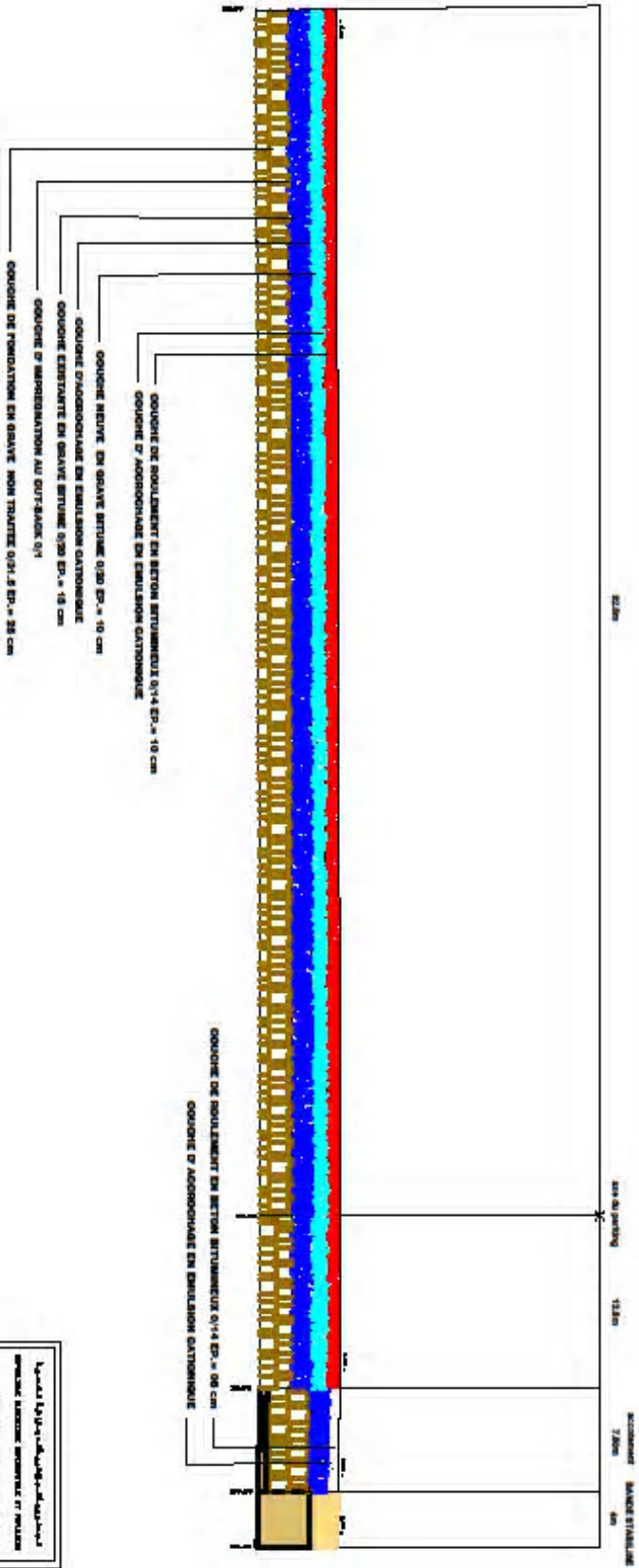
- Parking

Le 31/05/2018 à 01:06 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 1504
 E:\hassi r mel\piste\tab parking.PIS

PROFIL EN LONG

Elém	Caractéristiques des éléments	Longueur	Abscisse	Z
			0.000	765.509
D1	PENTE= 1.504 %	11.491		
			11.491	765.682
PR0	S= 11.5062 Z= 765.6820 R = -1.00	0.018		
			11.509	765.682
D2	PENTE= -0.261 %	63.144		
			74.653	765.517
PR1	S= -3.7442 Z= 765.6194 R = -30000.00	52.874		
			127.527	765.332
D3	PENTE= -0.438 %	26.512		
			154.039	765.216
PR2	S= 22.7674 Z= 765.5034 R = -30000.00	31.923		
			185.961	765.060
D4	PENTE= -0.544 %	24.541		
			210.502	764.926
PR3	S= 210.4968 Z= 764.9260 R = -1.00	0.010		
			210.512	764.926
D5	PENTE= -1.499 %	11.370		
			221.882	764.755
LONGUEUR DE L'AXE 221.882				

PROFIL EN TRAVERS TYPE DU PARKING





Société d'ingénierie et de construction
 spécialisée dans les services de planification
 et de gestion de projets de construction
 1000, rue Saint-Jacques, Montréal, Québec H2Y 1K5
 TEL: 514 392-1111 FAX: 514 392-1112
 WWW: www.ingenierie-quebec.com

DESI INGENIERIE ENCONSTRUCOES
 LTDA E SERVIÇOS E LÍQUIDAÇÃO
 (LÍQUIDAÇÃO EM CURSO)

PROJETO
 PROJETO DE FUNDAMENTOS

10/11/2011
 10/11/2011



ANNEXE IV

METRE

Volume de terrassement

• PISTE PRINCIPALE

Le 31/05/2018 à 16:22 --- PISTE 5.05 --- Licence n°
1504 C:\Users\LOUNIC\Desktop\hassi r
me\piste\tab.PIS

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000	0.0	253.1	0,08	0.0
2	10.000	0.9	463.6	0,08	0.0
3	20.000	3.7	425.6	0,08	0.0
4	30.000	8.1	391.6	0,08	0.0
5	40.000	12.7	360.3	0,08	0.0
6	50.000	18.2	332.4	0,08	0.0
7	60.000	24.8	306.9	0,08	0.0
8	70.000	43.0	254.5	0,08	0.0
9	80.000	75.5	194.8	0,08	0.0
10	90.000	114.1	146.0	0,08	0.0
11	100.000	71.6	855.4	0,08	0.0
12	110.000	102.9	752.6	0,08	0.0
13	120.000	139.8	662.8	0,08	0.0
14	130.000	168.7	626.5	0,08	0.0
15	140.000	140.8	647.5	0,08	0.0
16	150.000	114.7	687.2	0,08	0.0
17	160.000	160.4	357.0	0,08	0.0
18	170.000	127.8	395.3	0,08	0.0
19	180.000	101.2	436.2	0,08	0.0
20	190.000	79.5	478.5	0,08	0.0
21	200.000	49.7	504.7	0,08	0.0
22	210.000	15.4	525.8	0,08	0.0
23	220.000	0.0	787.7	0,08	0.0
24	230.000	0.0	816.4	0,08	0.0
25	240.000	0.0	824.3	0,08	0.0
26	250.000	0.0	831.3	0,08	0.0
27	260.000	0.0	834.2	0,08	0.0
28	270.000	0.0	828.9	0,08	0.0
29	280.000	0.0	816.0	0,08	0.0
30	290.000	0.0	804.9	0,08	0.0
31	300.000	0.0	791.0	0,08	0.0
32	310.000	0.0	778.3	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

33	320.000	0.0	768.9	0,08	0.0
34	330.000	0.0	767.3	0,08	0.0
35	340.000	0.0	762.7	0,08	0.0
36	350.000	0.0	762.1	0,08	0.0
37	360.000	0.0	767.9	0,08	0.0
38	370.000	0.0	777.4	0,08	0.0
39	380.000	0.0	788.7	0,08	0.0
40	390.000	0.0	801.9	0,08	0.0
41	400.000	0.0	816.9	0,08	0.0
42	410.000	0.0	820.8	0,08	0.0
43	420.000	0.0	823.2	0,08	0.0
44	430.000	0.0	827.3	0,08	0.0
45	440.000	0.0	833.2	0,08	0.0
46	450.000	0.0	839.8	0,08	0.0
47	460.000	0.0	848.0	0,08	0.0
48	470.000	0.0	867.5	0,08	0.0
49	480.000	0.0	876.9	0,08	0.0
50	490.000	0.0	879.9	0,08	0.0
51	500.000	0.0	873.6	0,08	0.0
52	510.000	0.0	863.0	0,08	0.0
53	520.000	0.0	845.3	0,08	0.0
54	530.000	0.0	831.9	0,08	0.0
55	540.000	0.0	824.7	0,08	0.0
56	550.000	0.0	820.9	0,08	0.0
57	560.000	0.0	817.5	0,08	0.0
58	570.000	0.0	809.2	0,08	0.0
59	580.000	0.0	796.0	0,08	0.0
60	590.000	0.0	774.5	0,08	0.0
61	600.000	0.0	749.4	0,08	0.0
62	610.000	0.0	722.3	0,08	0.0
63	620.000	0.0	693.9	0,08	0.0
64	630.000	0.0	676.5	0,08	0.0
65	640.000	0.0	672.6	0,08	0.0
66	650.000	0.0	670.7	0,08	0.0
67	660.000	0.0	676.6	0,08	0.0
68	670.000	0.0	661.6	0,08	0.0
69	680.000	0.0	635.0	0,08	0.0
70	690.000	0.0	595.8	0,08	0.0
71	700.000	0.0	552.0	0,08	0.0
72	710.000	0.0	537.1	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

73	720.000	0.0	506.3	0,08	0.0
74	730.000	0.0	495.1	0,08	0.0
75	740.000	0.0	489.6	0,08	0.0
76	750.000	0.0	474.3	0,08	0.0
77	760.000	0.0	494.1	0,08	0.0
78	770.000	0.0	530.2	0,08	0.0
79	780.000	0.0	536.1	0,08	0.0
80	790.000	0.0	528.1	0,08	0.0
81	800.000	0.0	538.1	0,08	0.0
82	810.000	0.0	545.2	0,08	0.0
83	820.000	0.0	566.6	0,08	0.0
84	830.000	0.0	579.3	0,08	0.0
85	840.000	0.0	591.6	0,08	0.0
86	850.000	0.0	593.8	0,08	0.0
87	860.000	0.0	625.9	0,08	0.0
88	870.000	0.0	644.4	0,08	0.0
89	880.000	0.0	659.7	0,08	0.0
90	890.000	0.0	664.1	0,08	0.0
91	900.000	0.0	666.1	0,08	0.0
92	910.000	0.0	656.4	0,08	0.0
93	920.000	0.0	645.9	0,08	0.0
94	930.000	0.0	639.6	0,08	0.0
95	940.000	0.0	640.1	0,08	0.0
96	950.000	0.0	678.8	0,08	0.0
97	960.000	0.0	708.3	0,08	0.0
98	970.000	0.0	728.3	0,08	0.0
99	980.000	0.0	718.6	0,08	0.0
100	990.000	0.0	696.6	0,08	0.0
101	1000.000	0.0	676.1	0,08	0.0
102	1010.000	0.0	690.2	0,08	0.0
103	1020.000	0.0	698.8	0,08	0.0
104	1030.000	0.0	702.1	0,08	0.0
105	1040.000	0.0	699.8	0,08	0.0
106	1050.000	0.0	695.7	0,08	0.0
107	1060.000	0.0	704.7	0,08	0.0
108	1070.000	0.0	749.1	0,08	0.0
109	1080.000	0.0	786.0	0,08	0.0
110	1090.000	0.0	814.6	0,08	0.0
111	1100.000	0.0	835.2	0,08	0.0
112	1110.000	0.0	827.3	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

113	1120.000	0.0	781.4	0,08	0.0
114	1130.000	0.0	807.5	0,08	0.0
115	1140.000	0.0	831.8	0,08	0.0
116	1150.000	0.0	834.3	0,08	0.0
117	1160.000	0.0	814.7	0,08	0.0
118	1170.000	0.0	787.1	0,08	0.0
119	1180.000	0.0	753.2	0,08	0.0
120	1190.000	0.0	754.0	0,08	0.0
121	1200.000	0.0	756.8	0,08	0.0
122	1210.000	0.0	767.9	0,08	0.0
123	1220.000	0.0	778.1	0,08	0.0
124	1230.000	0.0	787.9	0,08	0.0
125	1240.000	0.0	795.6	0,08	0.0
126	1250.000	0.0	790.9	0,08	0.0
127	1260.000	0.0	801.5	0,08	0.0
128	1270.000	0.0	798.1	0,08	0.0
129	1280.000	0.0	779.5	0,08	0.0
130	1290.000	0.0	760.7	0,08	0.0
131	1300.000	0.0	753.2	0,08	0.0
132	1310.000	0.0	600.5	0,08	0.0
133	1320.000	0.0	592.5	0,08	0.0
134	1330.000	0.0	670.8	0,08	0.0
135	1340.000	0.0	729.4	0,08	0.0
136	1350.000	0.0	759.3	0,08	0.0
137	1360.000	0.0	749.8	0,08	0.0
138	1370.000	0.0	743.7	0,08	0.0
139	1380.000	0.0	746.0	0,08	0.0
140	1390.000	0.0	749.4	0,08	0.0
141	1400.000	0.0	754.8	0,08	0.0
142	1410.000	0.0	761.4	0,08	0.0
143	1420.000	0.0	774.7	0,08	0.0
144	1430.000	0.0	764.8	0,08	0.0
145	1440.000	0.0	752.3	0,08	0.0
146	1450.000	0.0	741.0	0,08	0.0
147	1460.000	0.0	730.8	0,08	0.0
148	1470.000	0.0	724.1	0,08	0.0
149	1480.000	0.0	725.2	0,08	0.0
150	1490.000	0.0	721.9	0,08	0.0
151	1500.000	0.0	714.6	0,08	0.0
152	1510.000	0.0	708.0	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

153	1520.000	0.0	701.0	0,08	0.0
154	1530.000	0.0	694.4	0,08	0.0
155	1540.000	0.0	692.6	0,08	0.0
156	1550.000	0.0	702.1	0,08	0.0
157	1560.000	0.0	703.5	0,08	0.0
158	1570.000	0.0	704.3	0,08	0.0
159	1580.000	0.0	705.7	0,08	0.0
160	1590.000	0.0	707.4	0,08	0.0
161	1600.000	0.0	695.1	0,08	0.0
162	1610.000	0.0	691.9	0,08	0.0
163	1620.000	0.0	700.1	0,08	0.0
164	1630.000	0.0	708.4	0,08	0.0
165	1640.000	0.0	717.4	0,08	0.0
166	1650.000	0.0	728.7	0,08	0.0
167	1660.000	0.0	738.5	0,08	0.0
168	1670.000	0.0	771.0	0,08	0.0
169	1680.000	0.0	800.9	0,08	0.0
170	1690.000	0.0	819.6	0,08	0.0
171	1700.000	0.0	837.6	0,08	0.0
172	1710.000	0.0	850.7	0,08	0.0
173	1720.000	0.0	850.8	0,08	0.0
174	1730.000	0.0	841.2	0,08	0.0
175	1740.000	0.0	833.7	0,08	0.0
176	1750.000	0.0	826.4	0,08	0.0
177	1760.000	0.0	823.2	0,08	0.0
178	1770.000	0.0	824.4	0,08	0.0
179	1780.000	0.0	829.6	0,08	0.0
180	1790.000	0.0	835.5	0,08	0.0
181	1800.000	0.0	829.8	0,08	0.0
182	1810.000	0.0	825.9	0,08	0.0
183	1820.000	0.0	821.7	0,08	0.0
184	1830.000	0.0	815.2	0,08	0.0
185	1840.000	0.0	800.8	0,08	0.0
186	1850.000	0.0	789.7	0,08	0.0
187	1860.000	0.0	772.4	0,08	0.0
188	1870.000	0.0	754.7	0,08	0.0
189	1880.000	0.0	733.9	0,08	0.0
190	1890.000	0.0	707.3	0,08	0.0
191	1900.000	0.0	673.7	0,08	0.0
192	1910.000	0.0	687.4	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

193	1920.000	0.0	707.1	0,08	0.0
194	1930.000	0.0	736.7	0,08	0.0
195	1940.000	0.0	781.2	0,08	0.0
196	1950.000	0.0	835.7	0,08	0.0
197	1960.000	0.0	892.5	0,08	0.0
198	1970.000	0.0	838.2	0,08	0.0
199	1980.000	0.0	797.0	0,08	0.0
200	1990.000	0.0	767.1	0,08	0.0
201	2000.000	0.0	750.8	0,08	0.0
202	2010.000	0.0	751.5	0,08	0.0
203	2020.000	0.0	768.0	0,08	0.0
204	2030.000	0.0	735.2	0,08	0.0
205	2040.000	0.0	732.0	0,08	0.0
206	2050.000	0.0	721.5	0,08	0.0
207	2060.000	0.0	716.5	0,08	0.0
208	2070.000	0.0	701.4	0,08	0.0
209	2080.000	0.0	674.5	0,08	0.0
210	2090.000	0.0	690.8	0,08	0.0
211	2100.000	0.0	708.2	0,08	0.0
212	2110.000	0.0	720.9	0,08	0.0
213	2120.000	0.0	728.5	0,08	0.0
214	2130.000	0.0	734.0	0,08	0.0
215	2140.000	0.0	732.3	0,08	0.0
216	2150.000	0.0	739.0	0,08	0.0
217	2160.000	0.0	746.0	0,08	0.0
218	2170.000	0.0	755.3	0,08	0.0
219	2180.000	0.0	758.2	0,08	0.0
220	2190.000	0.0	763.2	0,08	0.0
221	2200.000	0.0	759.6	0,08	0.0
222	2210.000	0.0	751.4	0,08	0.0
223	2220.000	0.0	757.8	0,08	0.0
224	2230.000	0.0	751.9	0,08	0.0
225	2240.000	0.0	743.8	0,08	0.0
226	2250.000	0.0	730.2	0,08	0.0
227	2260.000	0.0	711.6	0,08	0.0
228	2270.000	0.0	717.7	0,08	0.0
229	2280.000	0.0	725.3	0,08	0.0
230	2290.000	0.0	728.4	0,08	0.0
231	2300.000	0.0	734.5	0,08	0.0
232	2310.000	0.0	743.5	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

233	2320.000	0.0	750.5	0,08	0.0
234	2330.000	0.0	750.4	0,08	0.0
235	2340.000	0.0	752.8	0,08	0.0
236	2350.000	0.0	751.4	0,08	0.0
237	2360.000	0.0	754.3	0,08	0.0
238	2370.000	0.0	762.3	0,08	0.0
239	2380.000	0.0	774.1	0,08	0.0
240	2390.000	0.0	822.1	0,08	0.0
241	2400.000	0.0	860.0	0,08	0.0
242	2410.000	0.0	887.6	0,08	0.0
243	2420.000	0.0	903.7	0,08	0.0
244	2430.000	0.0	909.2	0,08	0.0
245	2440.000	0.0	906.3	0,08	0.0
246	2450.000	0.0	910.1	0,08	0.0
247	2460.000	0.0	903.4	0,08	0.0
248	2470.000	0.0	889.5	0,08	0.0
249	2480.000	0.0	868.3	0,08	0.0
250	2490.000	0.0	839.9	0,08	0.0
251	2500.000	0.0	807.1	0,08	0.0
252	2510.000	0.0	764.5	0,08	0.0
253	2520.000	0.0	730.8	0,08	0.0
254	2530.000	0.0	706.1	0,08	0.0
255	2540.000	0.0	742.7	0,08	0.0
256	2550.000	0.0	737.4	0,08	0.0
257	2560.000	0.0	720.3	0,08	0.0
258	2570.000	0.0	689.2	0,08	0.0
259	2580.000	0.0	639.9	0,08	0.0
260	2590.000	0.0	590.5	0,08	0.0
261	2600.000	0.0	556.8	0,08	0.0
262	2610.000	0.0	549.6	0,08	0.0
263	2620.000	0.0	580.8	0,08	0.0
264	2630.000	0.0	615.2	0,08	0.0
265	2640.000	0.0	699.8	0,08	0.0
266	2650.000	0.0	769.6	0,08	0.0
267	2660.000	0.0	789.1	0,08	0.0
268	2670.000	0.0	754.5	0,08	0.0
269	2680.000	0.0	704.8	0,08	0.0
270	2690.000	0.0	695.9	0,08	0.0
271	2700.000	0.0	702.2	0,08	0.0
272	2710.000	0.0	706.7	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

273	2720.000	0.0	704.1	0,08	0.0
274	2730.000	0.0	706.5	0,08	0.0
275	2740.000	0.0	719.9	0,08	0.0
276	2750.000	0.0	733.6	0,08	0.0
277	2760.000	0.0	733.8	0,08	0.0
278	2770.000	0.0	729.5	0,08	0.0
279	2780.000	0.0	731.3	0,08	0.0
280	2790.000	0.0	728.1	0,08	0.0
281	2800.000	0.0	719.8	0,08	0.0
282	2810.000	0.0	716.2	0,08	0.0
283	2820.000	0.0	710.2	0,08	0.0
284	2830.000	0.0	710.6	0,08	0.0
285	2840.000	0.0	709.5	0,08	0.0
286	2850.000	0.0	708.4	0,08	0.0
287	2860.000	0.0	707.2	0,08	0.0
288	2870.000	0.0	703.1	0,08	0.0
289	2880.000	0.0	701.8	0,08	0.0
290	2890.000	0.0	694.5	0,08	0.0
291	2900.000	0.0	677.2	0,08	0.0
292	2910.000	0.0	648.3	0,08	0.0
293	2920.000	0.0	622.4	0,08	0.0
294	2930.000	0.0	717.3	0,08	0.0
295	2940.000	0.0	757.9	0,08	0.0
296	2950.000	0.0	768.1	0,08	0.0
297	2960.000	0.0	767.0	0,08	0.0
298	2970.000	0.0	768.5	0,08	0.0
299	2980.000	0.0	771.8	0,08	0.0
300	2990.000	0.0	781.0	0,08	0.0
301	3000.000	0.0	785.3	0,08	0.0
302	3010.000	0.0	835.5	0,08	0.0
303	3020.000	0.0	828.0	0,08	0.0
304	3030.000	0.0	804.1	0,08	0.0
305	3040.000	0.0	770.7	0,08	0.0
306	3050.000	0.0	742.5	0,08	0.0
307	3060.000	0.0	737.8	0,08	0.0
308	3070.000	0.0	736.5	0,08	0.0
309	3080.000	0.0	742.1	0,08	0.0
310	3090.000	0.0	744.6	0,08	0.0
311	3100.000	0.0	745.3	0,08	0.0
312	3110.000	0.0	745.5	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

313	3120.000	0.0	746.9	0,08	0.0
314	3130.000	0.0	747.2	0,08	0.0
315	3140.000	0.0	746.3	0,08	0.0
316	3150.000	0.0	767.6	0,08	0.0
317	3160.000	0.0	788.0	0,08	0.0
318	3170.000	0.0	770.4	0,08	0.0
319	3180.000	0.0	755.7	0,08	0.0
320	3190.000	0.0	718.6	0,08	0.0
321	3200.000	0.0	666.7	0,08	0.0
322	3210.000	0.0	642.8	0,08	0.0
323	3220.000	1.0	363.1	0,08	0.0
324	3230.000	9.4	272.3	0,08	0.0
325	3240.000	26.0	275.7	0,08	0.0
326	3250.000	49.3	279.1	0,08	0.0
327	3260.000	72.2	279.0	0,08	0.0
328	3270.000	98.2	277.2	0,08	0.0
329	3280.000	64.5	641.1	0,08	0.0
330	3290.000	61.8	668.7	0,08	0.0
331	3300.000	59.1	692.7	0,08	0.0
332	3310.000	55.9	775.2	0,08	0.0
333	3320.000	51.3	914.8	0,08	0.0
334	3330.000	23.3	1180.2	0,08	0.0
335	3340.000	46.9	263.5	0,08	0.0
336	3350.000	28.7	302.3	0,08	0.0
337	3360.000	23.2	345.4	0,08	0.0
338	3370.000	19.8	374.7	0,08	0.0
339	3380.000	16.7	393.8	0,08	0.0
340	3390.000	13.3	419.6	0,08	0.0
341	3400.000	9.0	442.9	0,08	0.0
342	3410.000	4.0	462.0	0,08	0.0
343	3420.000	0.7	479.4	0,08	0.0
344	3430.000	0.0	495.9	0,08	0.0
345	3440.000	0.0	254.5	0,08	0.0
		2308	242977	0,08	0

• Bretelle

Le 31/05/2018 à 00:39 --- PISTE 5.05 ---

Licence n° 1504

F:\HASSIR~1\bretelle\TABBRE~1.PIS

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000	0.0	77.0	0,08	0.0
2	10.000				
		0.0	75.0	0,08	0.0
3	20.000				
		3.8	36.1	0,08	0.0
4	30.000				
		11.3	15.0	0,08	0.0
5	40.000				
		20.3	3.7	0,08	0.0
6	50.000				
		34.0	2.4	0,08	0.0
7	60.000				
		79.9	2.6	0,08	0.0
8	70.000				
		118.7	1.2	0,08	0.0
9	80.000				
		88.1	0.3	0,08	0.0
10	90.000				
		88.3	0.6	0,08	0.0
11	100.000				
		108.4	0.0	0,08	0.0
12	110.000				
		127.0	0.0	0,08	0.0
13	120.000				
		148.6	0.0	0,08	0.0
14	130.000				
		148.8	0.0	0,08	0.0
15	140.000				
		171.9	0.0	0,08	0.0
16	150.000				
		195.3	0.0	0,08	0.0
17	160.000				
		201.1	0.0	0,08	0.0
18	170.000				
		197.5	0.0	0,08	0.0
19	180.000				
		181.9	0.0	0,08	0.0
20	190.000				
		168.7	0.0	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

21	200.000				
		188.9	0.0	0,08	0.0
22	210.000				
		204.6	0.0	0,08	0.0
23	220.000				
		212.2	0.0	0,08	0.0
24	230.000				
		213.3	0.0	0,08	0.0
25	240.000				
		248.2	0.0	0,08	0.0
26	250.000				
		255.0	0.0	0,08	0.0
27	260.000				
		272.6	0.0	0,08	0.0
28	270.000				
		322.2	0.0	0,08	0.0
29	280.000				
		263.7	0.0	0,08	0.0
30	290.000				
		208.0	0.0	0,08	0.0
31	300.000				
		166.6	0.0	0,08	0.0
32	310.000				
		145.0	0.0	0,08	0.0
33	320.000				
		116.8	0.0	0,08	0.0
34	330.000				
		86.0	0.0	0,08	0.0
35	340.000				
		62.3	0.1	0,08	0.0
36	350.000				
		63.5	0.0	0,08	0.0
37	360.000				
		68.7	0.0	0,08	0.0
38	370.000				
		73.6	0.0	0,08	0.0
39	380.000				
		79.6	0.0	0,08	0.0
40	390.000				
		88.6	0.0	0,08	0.0
41	400.000				
		93.4	0.0	0,08	0.0
42	410.000				
		97.4	0.0	0,08	0.0
43	420.000				
		89.9	0.0	0,08	0.0

ANNEXE IV : METRE

44	430.000				
		69.4	0.0	0,08	0.0
45	440.000				
		60.9	0.0	0,08	0.0
46	450.000				
		66.7	0.2	0,08	0.0
47	460.000				
		67.7	0.0	0,08	0.0
48	470.000				
		60.0	0.2	0,08	0.0
49	480.000				
		50.1	0.4	0,08	0.0
50	490.000				
		24.4	6.5	0,08	0.0
51	500.000				
		6.2	26.0	0,08	0.0
52	510.000				
53	520.000				
54	529.324				
		6119	248	0	0

• **Parking**

**Le 31/05/2018 à 01:06 --- PISTE 5.05 ---
Licence n° 1504 E:\hassi r mel\pistetab
parking.PIS**

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000				
2	10.000	39.5	650.7	0.08	0.0
3	20.000				
		40.6	647.3	0.08	0.0
4	30.000				
5	40.000				
6	50.000				
7	60.000				

ANNEXE IV : METRE

8	70.000				
9	80.000				
10	90.000				
11	100.000				
12	110.000				
13	120.000				
14	130.000				
15	140.000				
16	150.000				
17	160.000	46.4	580.7	0.08	0.0
18	170.000	44.3	587.6	0.08	0.0
19	180.000	41.0	600.5	0.08	0.0
20	190.000	40.5	610.4	0.08	0.0
21	200.000	35.5	619.1	0.08	0.0
22	210.000				
23	220.000				
24	221.882				
		288	4296	0	0

Volume de chaussée

- Parking

Le 31/05/2018 à 01:06 --- PISTE 5.05 --- Licence n° 1504
 E:\hassi r mell\piste\lab parking.PIS

VOLUMES CHAUSSEE

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	FORME VOLUME	BASE VOLUME	CHAUSSEE VOLUME	ACCOTE VOLUME	T.P.C. VOLUME
1	0.000					
2	10.000					
3	20.000	131.6		100.0	0.0	0.0
4	30.000	131.6		100.0	0.0	0.0
5	40.000					
6	50.000					
7	60.000					
8	70.000					
9	80.000					
10	90.000					
11	100.000					
12	110.000					
13	120.000					
14	130.000					
15	140.000					
16	150.000					
17	160.000					
18	170.000	131.6		100.0	0.0	0.0
19	180.000	131.6		100.0	0.0	0.0
20	190.000	131.6		100.0	0.0	0.0
21	200.000	131.6		100.0	0.0	0.0
22	210.000	131.6		100.0	0.0	0.0
23	220.000					
24	221.882					
		921	0	700	0	0

- PISTE

Le 31/05/2018 à 00:39 --- PISTE 5.05 ---

Licence n° 1504

F:\HASSIR~1\piste\TABBRE~1.PIS

VOLUMES CHAUSSEE

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	FORME VOLUME	BASE VOLUME	CHAUSSEE VOLUME	ACCOTE VOLUME	T.P.C. VOLUME
1	0.000	25.0		20.0	11.8	0.0
2	10.000	25.0		20.0	11.8	0.0
3	20.000	25.0		20.0	11.8	0.0
4	30.000	25.0		20.0	11.8	0.0
5	40.000	25.0		20.0	11.8	0.0
6	50.000	25.0		20.0	11.8	0.0
7	60.000	25.0		20.0	11.8	0.0
8	70.000	25.0		20.0	11.8	0.0
9	80.000	25.0		20.0	11.8	0.0
10	90.000	25.0		20.0	11.8	0.0
11	100.000	25.0		20.0	11.8	0.0
12	110.000	25.0		20.0	11.8	0.0
13	120.000	25.0		20.0	11.8	0.0

ANNEXE IV : METRE

14	130.000	25.0	20.0	11.8	0.0
15	140.000	25.0	20.0	11.8	0.0
16	150.000	25.0	20.0	11.8	0.0
17	160.000	25.0	20.0	11.8	0.0
18	170.000	25.0	20.0	11.8	0.0
19	180.000	25.0	20.0	11.8	0.0
20	190.000	25.0	20.0	11.8	0.0
21	200.000	25.0	20.0	11.8	0.0
22	210.000	25.0	20.0	11.8	0.0
23	220.000	25.0	20.0	11.8	0.0
24	230.000	25.0	20.0	11.8	0.0
25	240.000	25.0	20.0	11.8	0.0
26	250.000	25.0	20.0	11.8	0.0
27	260.000	25.0	20.0	11.8	0.0
28	270.000	25.0	20.0	11.8	0.0
29	280.000	25.0	20.0	11.8	0.0

ANNEXE IV : METRE

30	290.000	25.0	20.0	11.8	0.0
31	300.000	25.0	20.0	11.8	0.0
32	310.000	25.0	20.0	11.8	0.0
33	320.000	25.0	20.0	11.8	0.0
34	330.000	25.0	20.0	11.8	0.0
35	340.000	25.0	20.0	11.8	0.0
36	350.000	25.0	20.0	11.8	0.0
37	360.000	25.0	20.0	11.8	0.0
38	370.000	25.0	20.0	11.8	0.0
39	380.000	25.0	20.0	11.8	0.0
40	390.000	25.0	20.0	11.8	0.0
41	400.000	25.0	20.0	11.8	0.0
42	410.000	25.0	20.0	11.8	0.0
43	420.000	25.0	20.0	11.8	0.0
44	430.000	25.0	20.0	11.8	0.0
45	440.000	25.0	20.0	11.8	0.0

ANNEXE IV : METRE

46	450.000					
		25.0		20.0	11.8	0.0
47	460.000					
		25.0		20.0	11.8	0.0
48	470.000					
		25.0		20.0	11.8	0.0
49	480.000					
		25.0		20.0	11.8	0.0
50	490.000					
		25.0		20.0	11.8	0.0
51	500.000					
		25.0		20.0	11.8	0.0
52	510.000					
53	520.000					
54	529.324					
		1275	0	1020	602	0