

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

المدرسة الوطنية العليا للأشغال العمومية
فرنسيس جانسون

École Nationale Supérieure des Travaux Publics

Francis Jeanson



Mémoire

Pour l'obtention des diplômes d'Ingénieur d'État et de Master

Thème

**ETUDE DE RENFORCEMENT ET
DEVELOPPEMENT DES
INFRASTRUCTURES DE L'AEROPORT
DE HASSI R'MEL**

Présenté par :
LEMOUARI Ahmed

BOUZIDI Brahim

Encadré par :
Mr. FERRAT Abderezak

Mme. CHIALI Soumiya

Promotion 2018/2019

Remerciements

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

Un grand merci à nos familles et surtout nos parents qui ont été à nos côtés dès le début de notre cursus à nous soutenir et encourager

Nous tenons à remercier nos encadreur et Mr. Ferrat Abderezak et Mme. Chiali Soumiya pour leur patience et leur coopération tout le long de cette période.

Nos remerciements vont également à Mr. Sidali Farid le chef de département d'infrastructures aéroportuaires de la SAETI, Monsieur Adjlane Arezki et Mme. Abdelli Safia sans oublier Mr. Mme. Talbi Nawal.

Nous remercierons toute l'équipe à Hassi R'mel, Mr. Benyoub et Mr. Labadi de Sonatrach, Mr. Chikhi Moussa et Mr. Khelifa, Mr. Cherif de SAETI, Mr. Sitti de LTPS, Mr. Idir de l'ENNA, de nous avoir accordés de leur temps et répondu à nos questions et accompagnés tout au long de notre travail.

Merci à tous les enseignants de l'ENSTP qui ont contribué à notre formation, ainsi à l'équipe de la bibliothèque de L'ENSTP Mme. Bouakkaz Djamila et Mme. Mezaache Zibouda pour leurs excellentes volontés de nous aider

Merci à toutes les personnes qui de près ou de loin nous ont accompagnés aidés et supportés tout au long de notre travail.

Résumé

Les chaussées aéronautiques présentent souvent de nombreuses fissures dont les causes peuvent être très variées. Selon le type de chaussées et l'origine de la fissuration, les fissures peuvent prendre des formes diverses et avoir des conséquences très dommageables sur le comportement des chaussées.

Caractérisé par une couche de roulement en béton bitumineux, l'aérodrome de Hassi R'mel est un exemple réel du phénomène de descente des fissures. L'ampleur des dégradations observées sur la piste principale nécessite une prise en charge adéquate. C'est dans cette optique qu'à travers la présente étude nous proposons une solution durable en tenant compte des critères techniques, économiques et opérationnels, ainsi qu'une mise aux normes pour l'homologation de l'aérodrome.

Mot clés : Aérodrome, chaussée aéronautique, fissure, dégradation.

ملخص

غالبًا ما تحتوي أرصفة الطيران على العديد من الشقوق التي يمكن أن تكون أسبابها متنوعة للغاية. اعتمادًا على نوع الرصيف وأصل التصدع، يمكن أن تتخذ التشققات أشكالًا متعددة وتكون لها عواقب وخيمة جدًا على سلوك الرصيف. يتميز مطار حاسي الرمل، الذي يتميز بمسار من الخرسانة البيتومينية، بأنه مثال حقيقي لظاهرة نزول الشقوق. يتطلب مدى التدهور الذي لوحظ على المدرج الرئيسي إدارة مناسبة. في هذا السياق، من خلال هذه الدراسة، نقترح حلاً مستدامًا مع مراعاة المعايير الفنية والاقتصادية والتشغيلية، وكذلك توحيد المعايير للموافقة على المطار.

الكلمات المفتاحية: أرصفة الطيران، مطار، تدهور، تشققات.

Abstract

Aeronautical pavements often have many cracks whose causes can be very varied. Depending on the type of pavement and the origin of the crack, cracks can take various forms and have very damaging consequences on pavement behavior.

Characterized by a bituminous concrete wearing course, the Hassi R'mel aerodrome is a real example of the phenomenon of descending cracks. The extent of degradation observed on the main runway requires adequate management. It is in this context that through this study we propose a sustainable solution taking into account the technical, economic and operational criteria, as well as standardization for the approval of the aerodrome.

Key words: Aeronautical pavements, aerodrome, cracks, degradation

LISTE DES NOTATIONS

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale.

STAC : Service Technique de l'Aviation Civile.

STBA : Service Technique des Bases Aériennes.

EME : Enrobé à Module Elevé.

PP: Piste principale

SWY: stop way.

P : charge réelle sur atterrisseur.

P' : charge réelle pondérée.

P'' : charge normale de calcul.

e : épaisseur équivalente.

HWD : Heavy Weight Deflectometer.

CBR: California Bearing Ratio.

IS: Indice de Service.

PCN : Pavement Codification Number.

ACN : Aircraft Codification Number.

IRI : International Roughness Index.

CGS : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismique.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE
Chapitre I : Recherche Bibliographique	1
I.1. Introduction	1
I.2. Les enrobés à module élevé	2
I.3. Les composants de base.....	2
I.4. Méthodes de formulation	7
I.5. Essais de performance dans les études de formulation	10
I.6. Les niveaux de formulation.....	12
I.7. Domaine d'emploi.....	13
I.8. Précautions d'usage	14
I.9. Conclusion	14
Chapitre II : Présentation du projet	16
II.1. Introduction	16
II.2. Situation générale	16
II.3. Présentation de l'aérodrome de Hassi R'mel	16
II.4. Géométrie de l'aérodrome	17
II.5. Caractéristique de la région	18
II.6. L'historique de l'aérodrome de HASSI R'MEL	21
II.7. Evolution du trafic aérien	22
II.8. Conclusion.....	22
Chapitre III : Auscultation des chaussées aéronautiques	23
III.1. Introduction	23
III.2. Les dégradations	23
III.3. Relevé des dégradations et auscultation des chaussées existantes	25
III.4. Vérification de L'Uni.....	27
III.5. Conclusion	30

Chapitre IV : Etude géotechnique	31
IV.1. Introduction	31
IV.2. Campagne de reconnaissance	32
IV.3. Caractéristiques géotechniques des couches composent le sol support	34
IV.4. Diagnostic du corps de chaussée existant	34
IV.5. Mesure de déflexion par la méthode de l'HWD.....	36
IV.6. Caractéristique des matériaux susceptibles d'être utiliser	38
IV.7. Conclusion	41
Chapitre V : Conception et étude géométrique	42
V.1. Introduction	42
V.2. Caractéristiques géométriques de l'aérodrome De Hassi R'mel	42
V.3. La mise en norme de l'aérodrome de Hassi R'mel.....	43
V.4. Conclusion.....	45
Chapitre VI : Dimensionnement de l'aérodrome de HASSI R'MEL	46
VI.1. Introduction	46
VI.2. Type de chaussées aéronautiques	46
VI.3. Critères de choix du type de chaussée	47
VI.4. Méthodes de dimensionnement du corps de chaussée	47
VI.5. Dimensionnement de la chaussée par la méthode forfaitaire	48
VI.6. Proposition d'épaisseur réelle de renforcement	54
VI.7. Conclusion	55
Chapitre VII : Calcul des charges admissibles.....	56
VII.1. Introduction	56
VII.2. Méthode ACN-PCN	56
VII.3. Publication de la force portante d'une chaussée selon la méthode ACN-PCN... ..	56
VII.4. Numéro de classification d'aéronefs ACN	56
VII.5. Numéro de classification de chaussée PCN	58
VII.6. Admissibilité des avions selon la méthode ACN-PCN	61
VII.7. Conclusion	61

Chapitre VIII : Proposition des variantes	62
VIII.1. Introduction.....	62
VIII.2. Problématiques	62
VIII.3. Les facteurs essentiels pour le choix d'une structure de renforcement	62
VIII.4. Proposition des variantes	62
VIII.5. La mise en œuvre des variantes proposées	63
VIII.6. Estimation des coûts pour les différentes variantes	66
VIII.7. Analyse multicritère	68
VIII.8. Choix de la variante	69
VIII.9. Conclusion	69
Chapitre IX : Etude hydraulique et assainissement	70
IX.1. Introduction	70
IX.2. Assainissement des eaux superficielles	70
IX.3. Drainage des eaux souterraines	71
IX.4. Conséquence d'un réseau d'assainissement mal conçu	72
IX.5. Etude des crues	72
IX.6. Etude hydraulique	76
IX.7. Système de drainage de l'aérodrome de Hassi R'mel	78
IX.8. Conclusion	78
Chapitre X : Aides visuelles à la navigation.....	79
X.1. Introduction	79
X.2. Balisage et signalisation de jour	79
X.3. Système de signalisation de nuit.....	83
X.4. Maintenance du balisage lumineux des aérodromes.....	85
X.5. Conclusion	85
Chapitre XI : Métré.....	86
XI.1. Introduction	86
XI.2. Calcul des surfaces :	86
XI.3. Calcul des quantités	87
XI.4. Devis quantitatif et estimatif.....	90
CONCLUSION GENERALE
BIBLIOGRAPHIE.....
ANNEXES.....

LISTE DES FIGURES

Figure XI.1 Les différents types d'enrobés bitumineux.....	1
Figure I.2. Situation des variantes EME à squelette pierreux et sableux dans le triangle de Richardson	8
Figure I.3. Structure de la méthode belge de formulation des enrobés bitumineux	9
Figure I.4 Niveaux de l'épreuve de formulation	12
Figure II.1. Situation géographique de Hassi R'mel	16
Figure II.2. Géométrie de l'aérodrome de TILGHEMT	17
Figure II.3. Températures moyennes mensuelles de Hassi R'Mel (2008-2017).....	19
Figure II.4. Vents annuels moyens durant la période (2010-2018).....	20
Figure II.5. Cumul de précipitations annuelles durant la période 2008-2017	21
Figure II.6. Evolution du trafic Boeing 737-800 durant la période 2013-2018.....	22
Figure III.1. Profilomètre placé à l'avant d'un véhicule	27
Figure III.2. Principe de mesure de l'uni	28
Figure III.3. Position des profils (IRI).....	29
Figure IV.1. Mesure des déflexions.....	36
Figure VII.1. Abaque des valeurs du coefficient H(CBR) pour le calcul du PCN	60
Figure VIII.1. Les variantes proposées	62
Figure IX.1. Hauteur de remplissage d'une Buse	76
Figure IX.2. Dimensionnement d'un fossé.....	77
Figure X.1 Manche à vent.....	79
Figure X.2 indicateur de direction d'atterrissage	80
Figure X.3 marquage de seuil.....	81
Figure X.4 Marques de point cible, de zone de toucher des roues et latérale de la piste.	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1. Présentation de l'aérodrome	16
Tableau II.2. Températures moyennes mensuelles de Hassi R'Mel (2008-2017).....	19
Tableau II.3. Variations moyennes annuelles des précipitations (2008-2017).....	20
Tableau III. 1. relevé des dégradations sur l'aérodrome de Hassi R'mel.....	25
Tableau III.2. Niveau de service en fonction de l'indice de service	27
Tableau III.3. Position des profils (IRI)	29
Tableau III.4. Valeur IRI par profil.....	30
Tableau IV.1. Résultats du sondage carotté	33
Tableau IV.2. Caractéristiques géotechniques du sol support.....	34
Tableau IV.3. Campagne de carottage sur la piste	35
Tableau IV.4. Position et nombre de points et intervalle de mesure	37
Tableau IV.5. Durée de vie moyenne de la piste.....	38
Tableau IV.6. Les résultats des essais sur les échantillons prélevés	39
Tableau IV.7. Résultats des essais effectués sur les deux carrières du sable 0/3.....	40
Tableau IV.8. Résultats des essais effectués sur les deux carrières du gravier	40
Tableau V.1. Les caractéristiques géométriques de la piste principale.....	42
Tableau V.2. Les caractéristiques géométriques de la bretelle	42
Tableau V.3. Les caractéristiques géométriques du parking	43
Tableau V.3. Les caractéristiques géométriques de la voie de circulation.....	44
Tableau VI.1. Avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides.	47
Tableau VI.2. Pourcentage de la charge réelle	50
Tableau VI.3. Charge normale de calcul pour chaque aire	51
Tableau VI.4. Epaisseur équivalente pour chaque aire	52
Tableau VI.5. Epaisseur équivalente minimales des matériaux traités	52
Tableau VI.6. Coefficients d'équivalence pour le béton bitumineux (BB)	53
Tableau VI.7. Coefficients d'équivalence pour la grave bitume (GB)	53
Tableau VI.8. Coefficient d'équivalence pour la grave non traité (GNT)	53
Tableau VI.9 Epaisseur équivalentes des chaussées existantes	53
Tableau VI.10 épaisseurs réelles pour la méthode direct	54
Tableau VI.11. Epaisseur réelle des aires après un fraisage de 8 cm de BB.....	55

Tableau VII.1. L'ACN du B737-800	57
Tableau VII.2. L'ACN du B737-800 dans le cas de la chaussée souple.....	57
Tableau VII.3. Type de chaussée et lettre du code correspondant	58
Tableau VII.4. Catégorie de résistance du terrain de fondation	58
Tableau VII.5. Catégories de résistance de pression des pneus	59
Tableau VII.6. Méthode d'évaluation.....	59
Tableau VII.7. Récapitulation du PCN à publier.....	61
Tableau VII.8. Admissibilité des avions selon ACN-PCN	61
Tableau VIII.1 Coût du renforcement direct	66
Tableau VIII.2 Volume totale à décaper	66
Tableau VIII.3 Coût de la variante classique	67
Tableau VIII.4 Coût de la variante synthétique.....	67
Tableau VIII.5 Analyse multicritère	68
Tableau XI.1. Coefficient de MANNING-STRICKLER.....	76
Tableau X.1 dimensions des traits de l'axe de piste	81
Tableau X.2 dimensions des bandes	81
Tableau X.3 Distance utilisable à l'atterrissage	82
Tableau XI.1 Calcul des surfaces des chaussées.....	86
Tableau XI.2 Calcul des surfaces des bandes	86
Tableau XI.3 Calcul des surfaces des accotements.	86
Tableau XI.4 Calcul des volumes remblais/déblais.....	87
Tableau XI.5 Volume à fraiser	87
Tableau XI.6 Volume de GNT nécessaire	87
Tableau XI.7 Volume GB 0/20 nécessaire	87
Tableau XI.8 Volume de BB 0/14 nécessaire	88
Tableau XI.9 Volume de tuf nécessaire	88
Tableau XI.10 surface de géogrille	88
Tableau XI.11 Le devis quantitatif et estimatif	90

INTRODUCTION GENERALE

L'Algérie donne une grande importance à la construction et au développement des infrastructures aéronautiques à travers tout le territoire national, car la qualité et le niveau du transport aérien reflète l'état d'avancement du pays.

La ville de Hassi R'mel est considérée comme étant le premier pôle industriel gazier de l'Algérie on y trouve le plus grand gisement de gaz naturel du continent africain, actuellement exploité par SONATRACH.

D'où la nécessité d'entretenir et de développer l'aérodrome de Hassi R'mel nommé TILGHEMT, afin d'assurer le transport aérien des travailleurs de la première entreprise africaine dans le domaine pétrolier.

Dans notre projet de fin d'étude intitulé «Etude de renforcement et de développement des infrastructures de l'aérodrome de Hassi R'mel »

On va mener une étude de renforcement des infrastructures de l'aérodrome de TILGHEMT, ainsi qu'une étude de développement de ces dernières, pour aboutir au choix de la meilleure solution en tenant compte de tous les critères techniques, économiques et opérationnels.

Ce présent projet comporte onze chapitres :

- **Chapitre I** : Recherche bibliographique.
- **Chapitre II** : Présentation du projet.
- **Chapitre III** : Auscultation des chaussées aéronautiques.
- **Chapitre IV** : Etude géotechnique.
- **Chapitre V** : Conception et étude géométrique.
- **Chapitre VI** : Dimensionnement de l'aérodrome de HASSI R'MEL.
- **Chapitre VII** : Calcul des charges admissibles.
- **Chapitre VIII** : Proposition des variantes.
- **Chapitre IX** : Assainissement.
- **Chapitre X** : Balisage et signalisation.
- **Chapitre XI** : Métré.

CHAPITRE I

Recherche bibliographique

« Les enrobés à module élevé »

I.1. Introduction :

Les Enrobés bitumineux utilisés dans les chaussées sont des matériaux à faible pourcentage de vide résultant d'un mélange de composants minéraux que sont les granulats et d'un liant hydrocarboné qui est généralement le bitume.

Suivant la procédure de fabrication ou la couche à laquelle est destiné l'enrobé, on distingue les différents types d'enrobés bitumineux illustrés sur « **la Figure XI.1** ».

Dans le présent chapitre on va s'intéresser au béton bitumineux à module élevé ses caractéristiques, domaine d'application et ses performances.

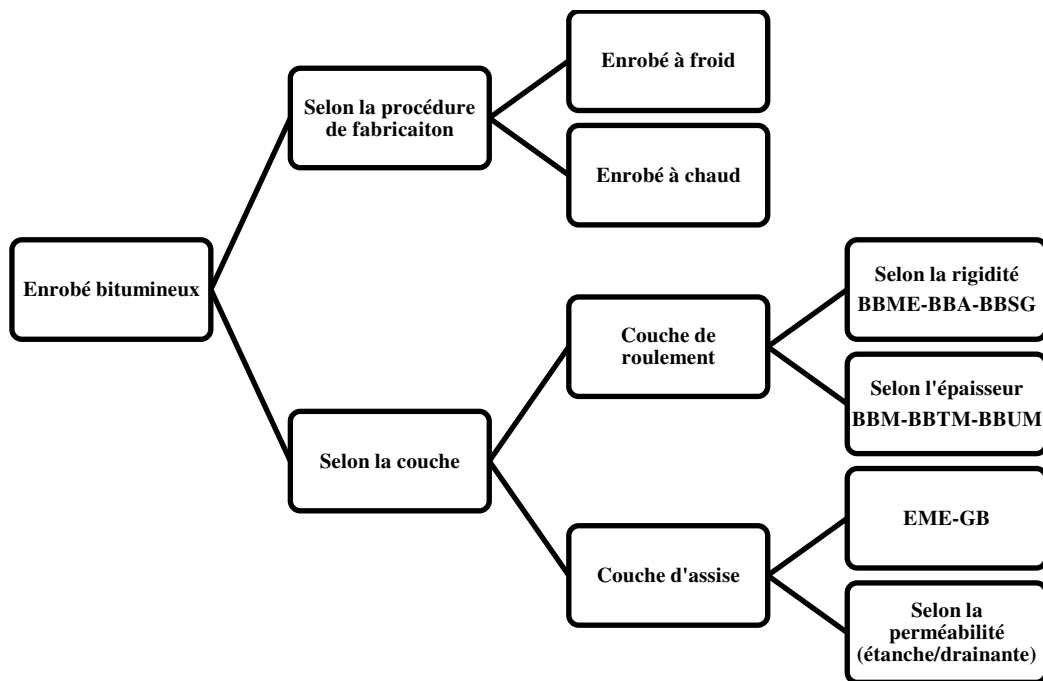


Figure XI.1 Les différents types d'enrobés bitumineux

Tel que :

BBME : Béton Bitumineux Module Elève.

BBA : Béton Bitumineux Aéronautique.

BBSG : Béton Bitumineux Semi Grenu.

BBM : Béton Bitumineux Mince.

BBTM : Béton Bitumineux Très Ultra Mince.

BBUM : Béton Bitumineux Ultra Mince.

EME : Enrobé à Module Elevé.

GB : Gave Bitume.

I.2. Les enrobés à module élevé

Apparus en France il y a une trentaine d'années, les enrobés à module élevé (EME) initialement conçus pour des usages en renforcement des chaussées, se sont majoritairement développés dans les agglomérations où le trafic lourd était important.

Les Enrobés bitumineux à module élevé sont des enrobés hydrocarboné à chaud caractérisés par un module de rigidité relativement plus élevé que celui de la grave bitume. Les caractéristiques et les propriétés mécaniques des enrobés bitumineux sont fonction de la granulométrie des composants minéraux, de la qualité du liant (pénétrabilité, température de ramollissement), teneur en liant et de la teneur en vides du mélange.

I.3. Les composants de base

Un mélange bitumineux est constitué principalement de composants minéraux (agrégats, de fines d'apport), de liant hydrocarboné et éventuellement des dopes d'adhésivité.

I.3.1. Les composants minéraux

Les agrégats constituent le squelette du mélange et assure en grande partie sa stabilité. Ils représentent plus de 90% du poids de l'enrobé, Le choix des composants minéraux est important car il affecte directement les caractéristiques mécaniques et les performances du mélange bitumineux.

La provenance pétrographique est la base de différenciation des composants minéraux.

- Les roches éruptives qui proviennent de la solidification de la matière en fusion (granite, basalte). Elles se présentent sous la forme de massifs et constituent en général de bons matériaux pour la construction routière.
- Les roches sédimentaires sont issues de la lente superposition des dépôts. Leur qualité est variable, les roches siliceuses (sables, grès) qui sont convenables en général pour les usages routiers.
- Les roches métamorphiques résultent du changement de la nature des roches sédimentaires sous l'effet de la pression et de la température. Ce sont en général de bons matériaux routiers.

La provenance des composants minéraux peut varier :

- Extraction à partir d'une roche mère compacte en carrière : il s'agit alors de matériaux concassés.
- Creusement d'un gisement de type gravière, alluvion fluviale ou lacustre : on parle dans ce cas de matériaux roulés ou semi-concassés.

Les granulats sont classifiés en différentes classes granulaires selon la taille des éléments. Une classe granulaire (d / D) est répertoriée par la taille du plus petit grain d et du plus gros grain D , toutes deux exprimées en mm . On distingue les classes granulaires suivantes :

- Les fines.
- Les sables,
- Les gravillons.
- Les cailloux.
- Les graves.

Afin de vérifier les caractéristiques et les performances et la conformité des granulats susceptibles d'être utilisés une série d'essai est exigée.

I.3.1.1. L'analyse granulométrique

➤ Définition et but

L'analyse granulométrique est un essai dont le but est de déterminer les proportions pondérales de grains de différentes dimensions.

➤ Principe

Le principe consiste à tamiser une masse m telle que $200D \leq m \leq 600D$ de granulat sec préalablement lavée sur une série de tamis à maille carrée, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis.

Les pourcentages ainsi obtenus sont exprimés sous forme d'un graphique appelé courbe granulométrique qui est la courbe de variation du pourcentage des granulats passants en fonction de la dimension de tamis.

I.3.1.2. La dureté

La dureté est déterminée par l'essai de fragmentation dynamique et l'essai Micro-Deval en présence d'eau.

➤ **La fragmentation dynamique**

La fragmentation dynamique permet de mesurer la résistance à l'abrasion d'un échantillon de granulat. L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produits en soumettant le matériau aux chocs d'une masse normalisée.

➤ **Micro Deval en présence d'eau**

Le micro Deval permet de déterminer l'usure d'un granulat sous l'effet de frottements. L'essai consiste à introduire des granulats dans le cylindre de la machine MDE, avec de l'eau et des billes de taille normalisée équivalente à celle des gravillons.

Lors de la rotation du cylindre, les gravillons frottent sur les billes. La masse des éléments inférieurs à 1.6 mm à la fin de l'essai donne la résistance à l'usure du granulat.

I.3.1.3. Masse Volumique Réelle

➤ **But de l'essai**

Cet essai vise à déterminer la masse et le volume de l'échantillon et calculer sa masse volumique réelle (rapport masse/volume).

➤ **Principe**

Le principe consiste à calculer la masse en pesant l'échantillon après avoir séché à l'étuve. Le volume est déterminé à partir du poids du volume d'eau déplacé par les particules sèches dans un pycnomètre de volume connu.

I.3.2. Le liant hydrocarboné

Le bitume est défini comme une matière organique naturelle, visqueuse et noire, provenant de la distillation du pétrole brut et utilisé pour le revêtement des chaussées. Le rôle assuré par le bitume dans le mélange est de participer à la stabilité, assurer en grande partie la durabilité du mélange. Il enrobe les agrégats imperméabilise la masse.

Le bitume est un matériau thermoplastique, c'est-à-dire il peut conserver ses propriétés après chauffage et que sa consistance varie avec la température. Cette modification de la consistance sur une large gamme de températures est particulièrement exploitée dans la construction des chaussées.

Solides à température ambiante, les liants bitumineux doivent être chauffés afin de modifier leur consistance lors de la fabrication et de la pose de l'enrobé. Une autre propriété fondamentale exigée d'un liant hydrocarboné est son pouvoir adhérent en présence d'un granulats minéral.

Les principaux constituants du bitume sont :

- le carbone (79 à 88%)
- l'hydrogène (7 à 13%)

On note également la présence de faibles quantités :

- d'oxygène (2 à 8%) et d'azote (jusqu'à 8%) ainsi que des traces de nombreux métaux (fer, nickel, aluminium, silicium, ...).

Les caractéristiques fondamentales d'un liant bitumineux sont les suivantes :

- La viscosité.
- L'adhésivité.
- La cohésion.

La masse volumique du bitume est généralement constante et égale à 1.3 t/m^3 , et son identification est liée aux essais de caractérisation suivants :

- Pénétrabilité du bitume à 25°C.
- Point de ramollissement bille et anneau du bitume.

I.3.2.1. Essai de pénétrabilité du bitume

➤ Définition et but

La pénétrabilité est un essai de classification de bitumes ; elle classe les bitumes selon des intervalles de valeurs de profondeurs correspondants à la pénétration d'une aiguille normalisée qui s'effectue suivant des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

➤ Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer la profondeur de pénétration d'une aiguille de référence dans l'échantillon d'essai conditionné qui n'est rien d'autre que le bitume.

Pour des pénétrations inférieures ou égales à (500x0.1m) on a :

- Température de l'essai 25 °C
- Charge appliquée 100g
- Durée d'application de la charge : 5 secondes.

Pour des pénétrations supérieures à cette limite, la température d'essai devra être de **15°C** tandis que la charge et durée de pénétration restent inchangées.

I.3.2.2. Essai de ramollissement Bille et Anneau

➤ Définition et but

La température de ramollissement est la température à laquelle le bitume se ramolli en d'autres termes, c'est la température à laquelle le bitume se trouve dans un état plus ou moins solide.

➤ Principe d'essai

Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux de laiton à épaulement, sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé, alors que chacun soutient une bille d'acier. La température de ramollissement notée doit correspondre à la moyenne des températures auxquelles les deux disques se ramollissent suffisamment pour permettre à chaque bille, enveloppée de liant bitumineux, de descendre d'une hauteur de 2.5 mm.

I.3.3. Les additifs

Les additifs sont destinés à améliorer les propriétés de l'enrobé ; il peut s'agir :

- **Des dopes d'adhésivité**

Pour améliorer l'affinité réciproque entre le liant et les granulats et en assurer la pérennité, des dopes d'adhésivité peuvent être utilisés. Il s'agit principalement de composés tensioactifs azotés dérivés des acides gras (amines, polyamines...) dosés à environ 0.3% à 0.6% du bitume. La chaux ou les fines calcaires, dosées jusqu'à 1% du bitume, peuvent également être utilisées comme agents dopants.

- **Des polyéthylènes**

Les déchets de polyéthylène sont souvent un mélange de polyéthylène de haute et basse densité. Lors de la fusion voisine de 130°C, le polyéthylène se combine en partie avec le bitume. Le dosage est habituellement compris entre 0.4% et 1%, par rapport aux granulats. La proportion de polyéthylène par rapport au bitume, peut ainsi varier entre 20% et 66%. Ils sont issus de déchets de câble, de broyage de bouteilles de lait, de films polyéthylène.

- **Des polymères**

Un polymère est une substance constituée de macromolécules dont la structure est caractérisée par la répétition d'un ou plusieurs motifs monomères. Les polymères sont des ajouts largement utilisés dans le domaine routier grâce à leur efficacité et leur avantage qu'ils fournissent aux enrobés bitumineux. Ils se présentent sous forme de granulés incorporés lors du malaxage du mélange.

I.4. Méthodes de formulation

La formulation a pour objectif de déterminer la composition optimale de granulats, de liants et de vide d'un mélange d'enrobé afin de résister aux sollicitations mécaniques et climatiques sur l'ensemble de la durée de vie de la chaussée.

Nombreuse sont les méthodes de formulation d'enrobé, nous décrivons par la suite brièvement quelques-unes des méthodes les plus connues.

I.4.1. Méthode belge de formulation

Le Centre de Recherches Routières belge a développé une méthode de formulation des enrobés bitumineux qui se caractérise par le fait qu'elle soit basée sur un calcul analytique de la composition volumique; l'utilisation d'un essai en laboratoire n'est justifiée que comme moyen de vérification des valeurs déterminées par la formulation volumique.

La méthode élaborée traite essentiellement les mélanges à squelette sableux et les mélanges à squelette pierreux. « **La Figure I.2** » nous présente la distinction squelettique traitée par cette méthode.

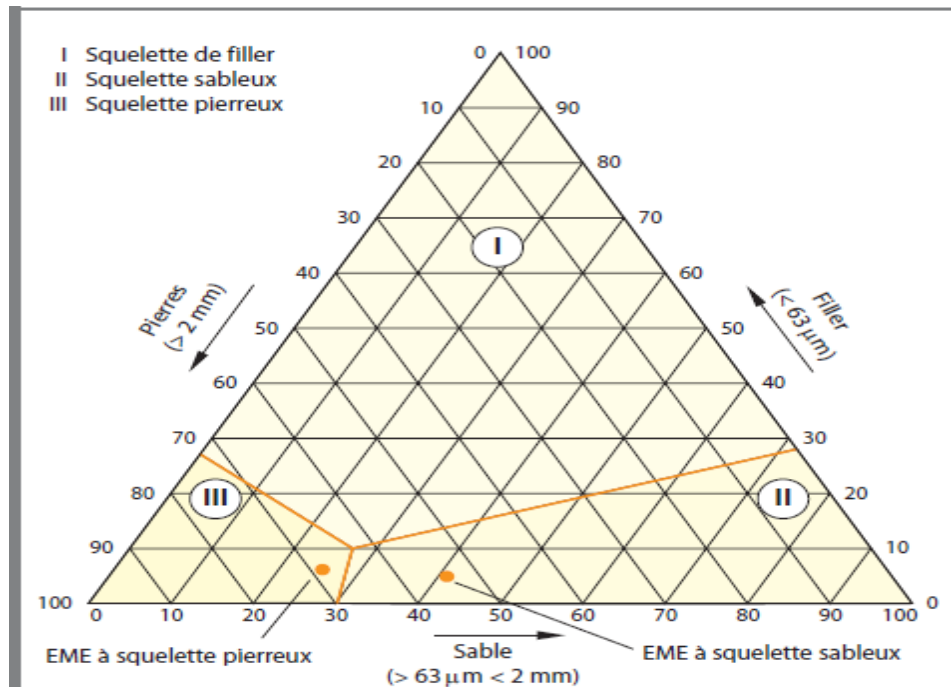


Figure I.2. Situation des variantes EME à squelette pierreux et sableux dans le triangle de Richardson

La procédure de formulation développée se décompose en trois phases :

- **Phase 1** - Choix et caractérisation des matériaux : le choix des composants du mélange est d'une grande importance pour les résultats et les performances de l'enrobé.
- **Phase 2** – Formulation : Les données issues de la première phase sont utilisées ainsi que la définition de la courbe granulométrique cible et ses limites. Pour la formulation, le pourcentage de vides à atteindre ou la teneur en liant cible peuvent être choisis. La composition en volume puis en masse est ensuite calculée (pierre, sable, filler, bitume).
- **Phase 3** – Essais : L'utilisation d'essais en laboratoire permet de vérifier les résultats obtenus lors de la formulation analytique. Si nécessaire, la formulation (composition et/ou matériaux) sera corrigée jusqu'à l'obtention d'une composition en adéquation avec les exigences.

Nous résumons l’algorithme de formulation de la méthode belge par « **la Figure I.3** » comme suit :

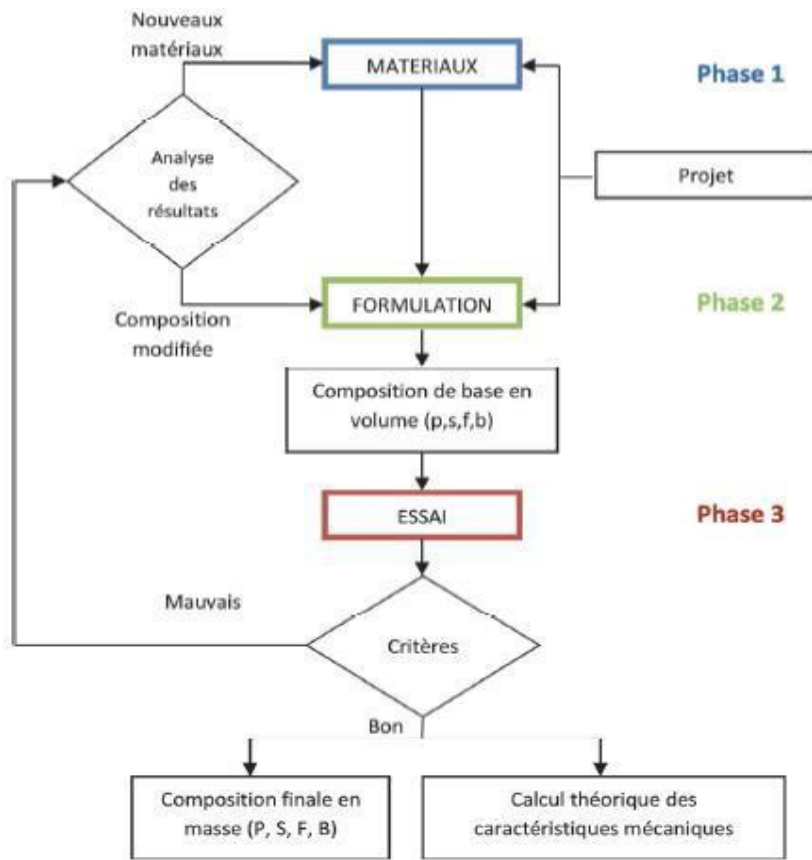


Figure I.3. Structure de la méthode belge de formulation des enrobés bitumineux

I.4.2. Méthode Marshall

Développée dans les années par Bruce Marshall, la méthode vise à choisir la teneur en liant pour une certaine densité du mélange qui satisfait à une stabilité minimale et un fluage évoluant dans un intervalle d’acceptation.

La procédure de formulation est la suivante :

➤ Choix des agrégats

Les matériaux doivent satisfaire les propriétés physiques conformément aux prescriptions.

➤ **Choix du liant**

A ce niveau, il n'existe pas une procédure de sélection et d'évaluation normalisée. Le choix est alors laissé à l'ingénieur qui devra réaliser les essais.

➤ **La préparation des échantillons**

Les échantillons sont fabriqués dans des moules normalisés. Typiquement on prépare 3 ou 5 mélanges avec des teneurs en liant différentes, et pour chaque mélange, 3 échantillons. Les échantillons sont ensuite compactés à l'aide de la dame Marshall selon des règles bien précises.

➤ **Détermination de la stabilité et du fluage**

Une fois compactés les échantillons sont soumis à un essai de stabilité et fluage. La stabilité est la force maximale que peut supporter l'échantillon et le fluage est la déformation plastique qui s'ensuit. Ces deux valeurs sont en quelque sorte des mesures permettant de prévoir la performance de l'enrobé.

➤ **Calcul de la densité et des vides**

Ici on détermine les caractéristiques du mélange que sont : la densité et les vides.

➤ **Choix de la teneur en liant optimale**

Il est fait à ce niveau, une représentation de l'évolution du pourcentage de vides, de la densité, du fluage, de la stabilité, des vides du squelette minéral et des vides remplis par le bitume en fonction de la teneur en liant.

La teneur idéale en liant est obtenue en faisant la moyenne des teneurs en bitume qui ont donné la stabilité maximale, la masse volumique maximale et la teneur en vides désirée.

I.5. Essais de performance dans les études de formulation

La caractérisation des performances d'enrobé se fait à travers des essais. Nous définissons un essai de performance comme un essai dont les résultats permettent d'évaluer le comportement dans le temps et sous sollicitations de l'enrobé. Ces essais font référence à une performance de l'enrobé, et sont réalisés dans l'optique du contrôle de performances du mélange bitumineux formulé.

I.5.1. Essai Duriez (Essai de compression simple)

L'essai Duriez ne permet pas d'avoir une propriété intrinsèque du matériau mais juste un moyen d'appréciation de façon indirecte de la tenue à l'eau. Pour cet essai, l'énergie de compactage utilisée pour la confection des éprouvettes est obtenue par une compression de l'enrobé à l'intérieur d'un moule cylindrique.

Les éprouvettes ainsi confectionnées sont conservées :

Les unes à 18°C pendant 07 jours à l'air libre

Les autres à 18°C pendant 07 jours à l'eau

Au bout de ce délai, les éprouvettes sont écrasées à une vitesse constante en compression simple et l'on obtient :

- La résistance des éprouvettes conservées à l'air: R
- La résistance des éprouvettes conservées dans l'eau: r

Le rapport r/R appelé rapport d'immersion/compression traduit en quelque sorte la tenue à l'eau de l'enrobé.

I.5.2. Essai d'orniérage

L'essai d'orniérage sert à l'étude des enrobés pour chaussées à trafic lourds. Il permet d'apprécier la résistance à l'orniérage des couches de roulement et des couches de base soumises au trafic lourd, et cela dans des conditions avoisinant celles rencontrées sur les chaussées.

Pour faire l'essai une plaque parallélépipédique de 5 cm ou de 10 cm d'épaisseur (Selon que l'épaisseur de mise en œuvre de l'enrobé) est soumise au trafic d'une roue équipée d'un pneumatique (fréquence : 1Hz, charge:5 kN, pression: 6bars), dans des conditions sévères de température (60°C) La profondeur de la déformation produite dans le passage de roue est notée en fonction du nombre de cycles.

Les spécifications portent sur un pourcentage d'ornière à un nombre de cycles donné, qui dépend du type de matériau, et de sa classe.

I.5.3 Essai de module

La rigidité du mélange est déterminée par un essai de traction uni-axial soit sur éprouvette cylindrique, soit sur une éprouvette parallélépipédique.

La charge est appliquée dans un domaine de petites déformations, en contrôlant le temps ou la fréquence, la température, le chargement. Le module (rapport de la contrainte à la déformation) est calculé pour chaque essai élémentaire.

Grâce à l'équivalence temps-température, on trace la courbe maîtresse du module à une température donnée. Cette représentation permet de connaître le comportement du mélange sur un large spectre de temps de charge ou de fréquences.

La spécification porte sur le module à 15°C et une fréquence de 10Hz ou un temps de charge de 0.02s.

I.5.4. Essai de fatigue

Cet essai consiste à solliciter en flexion au travers de son bord libre une éprouvette trapézoïdale d'enrobé encastré à sa base. Pour cette sollicitation, on impose un déplacement sinusoïdal d'amplitude constante à l'extrémité de l'éprouvette et on admet que la rupture est atteinte lorsque l'effort nécessaire pour obtenir la déformation est égal à la moitié de l'effort initial.

I.6. Les niveaux de formulation

Le niveau d'étude de formulation dépend en général du type d'enrobé et du niveau de sollicitation de la chaussée. La plupart des enrobés nécessitent au minima une étude de deux niveaux excepté les enrobés à module élevé utilisés en couche d'assise orientés vers une étude de niveau. Il est à noter que les niveaux supérieurs englobent les exigences des niveaux inférieurs. Les différents essais présentés dans « la Figure I.4 » permettent de vérifier les caractéristiques de l'enrobé formulé vis-à-vis des normes en vigueur.

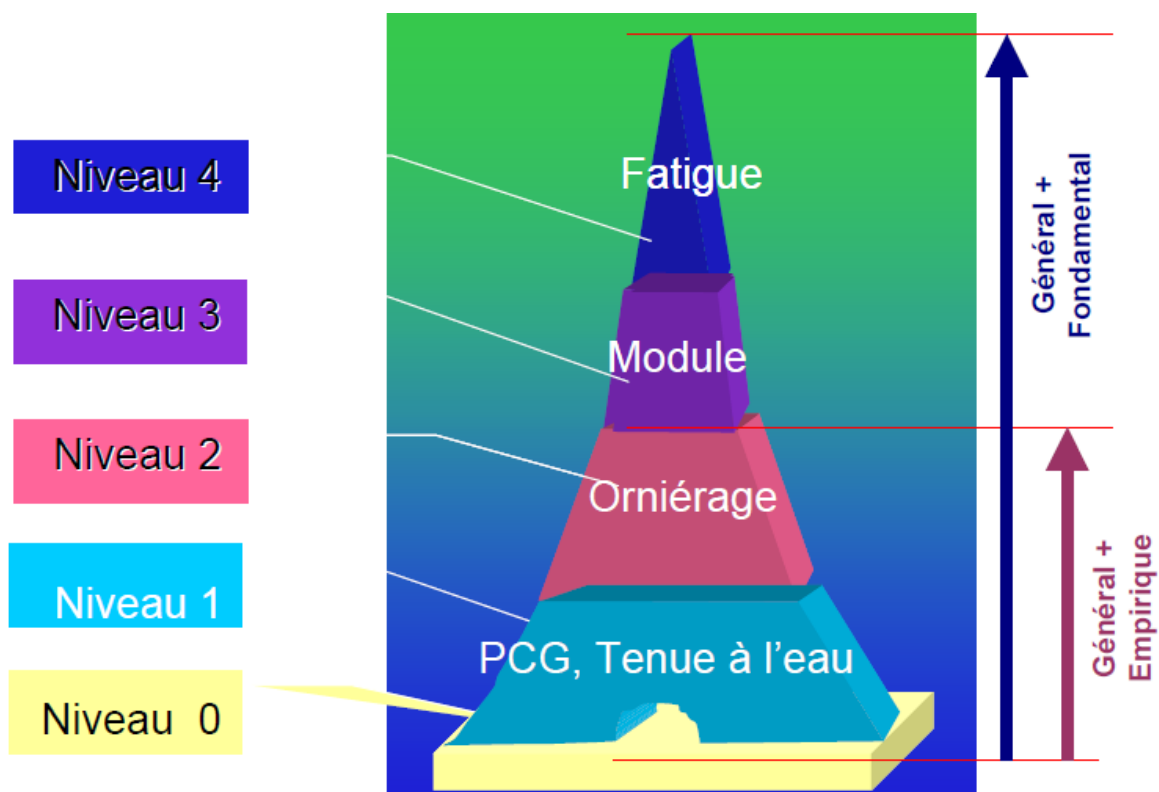


Figure I.4 Niveaux de l'épreuve de formulation

Niveau 1 : Ce niveau permet d'évaluer d'une part le pourcentage de vides du mélange à l'essai de Presse à Cisaillement Giratoire, et d'autre part la tenue à l'eau de l'essai Duriez.

Niveau 2 : A ce niveau, en plus des essais du niveau 1 s'ajoute l'essai de résistance à l'orniérage.

Niveau 3: Ce niveau comporte les essais des niveaux précédents auxquels s'ajoute un essai de module. Cet essai de module est spécifié dans le cas de chantiers importants et lorsque la couche intervient dans le fonctionnement structurel de la chaussée.

Niveau 4 : Ce niveau comporte tous les essais cités précédemment ainsi qu'un essai de détermination de la résistance à la fatigue. Le recours à cet essai intervient généralement pour des chantiers importants, notamment sur le réseau autoroutier.

A ces principaux essais s'ajoutent relativement selon le niveau de formulation requis l'essai Marshall.

I.7. Domaine d'emploi

Les EME offrent une bonne résistance à l'orniérage et constituent donc une solution souvent Utilisée en couche de base de 7 à 9 cm d'épaisseur, en répondant à la fois au problème D'apport structurel et à l'aspect anti-orniérant

Les EME sont utilisés dans :

- les voies à trafic lourd, canalisé et lent, telles que couloirs de bus.
- les voies spécifiques à trafic très lourd : voie spéciale poids lourds, quai de chargement.
- les renforcements de chaussées en décaissement, voiries urbaines ou.
- les couches de base de chaussée neuve à fondation en GRH, ou les couches d'assise de Chaussée bitumineuse épaisse,
- la réfection et le renforcement de voies lentes d'autoroutes après fraisage limité à 8 ou 12 cm d'épaisseur. Une couche de roulement générale, en BBTM par exemple, est ensuite Mise en œuvre sur toute la largeur des voies.
- **les pistes et zones de circulation des aéroports, lorsque le trafic est important en nombre de mouvement et surtout en charge supportée par chaque roue des trains d'atterrissage.**

Les EME sont fréquemment utilisés sur les aéroports. Le service technique de l'aviation civile (STAC) a rédigé une note d'information ainsi qu'un guide pour préciser les coefficients d'équivalence pour le dimensionnement et le domaine d'emploi spécifique des EME (disponible sur le site internet STAC).

I.8. Précautions D'usage

Les principales précautions, concernant la mise en œuvre, doivent être respectées pour permettre un bon comportement de la technique :

- 1 – disposer d'un support de capacité portance suffisante pour assurer une restitution satisfaisante durant le compactage, pour densifier correctement l'EME.
- 2 – les performances mécaniques de l'EME doivent bien entendu, satisfaire les spécifications de la norme, sur notamment la rigidité du matériau.
- 3 – respecter impérativement les épaisseurs moyennes du dimensionnement et surtout limiter les variations d'épaisseur (bon uni du support).
- 4 – assurer une protection superficielle par une couche de surface adaptée au trafic (suivant le principe de dissociation des couches) et au climat notamment hivernal.

Par ailleurs, une attention particulière doit être également accordée à la réalisation des joints Transversaux et surtout longitudinaux, pour éviter tout point faible. On choisira si possible des applications en pleine largeur.

I.9. Conclusion

Les EME constituent une technique bitumineuse moderne, particulièrement performante, pour faire face aux problèmes d'accroissement de l'agressivité du trafic, tout en contribuant au concept du développement durable. La réduction des épaisseurs induit une économie des ressources non renouvelables, une réduction des travaux de décaissement en milieu urbain, ou de mise à niveau des accotements. La diversité de ses applications routières, industrielles (quais, aires de manœuvre) voire dans le domaine des pistes et voies de circulation des aéronefs est un autre atout majeur de son développement. La technique est bien maîtrisée.

BIBLIOGRAPHIE

SETRA/CSTR Par Mr. V. GOYON

Les Enrobés Bitumineux : Formulation, Fabrication, Mise en Place - Montréal 2006

Les enrobés à module élevé : Bilan de l'expérience français et transfert de technologie de Mr. Yves BROSSEAUD Directeur de Recherche au LCPC.

CHAPITRE II

Présentation du projet

II.1. Introduction

Chaque aéroport subit une dégradation après une certaine durée d'exploitation, qui nécessite un renforcement afin de maintenir le trafic en toute sécurité.

Le maître d'œuvre responsable de l'étude du renforcement doit connaître la géométrie de l'aéroport ainsi que les caractéristiques du site avec les données géologiques et climatologiques et la sismologie et la topographie du site ainsi l'historique et l'évolution du trafic aérien.

II.2. Situation générale

La commune de Hassi R'mel fait partie de la wilaya de Laghouat du sud de l'Algérie, s'étalant sur une superficie de 2,841 km², elle est considérée comme un pôle industriel clé du pays on y trouve le plus grand gisement du gaz naturel au continent Africain.



Figure II.1. Situation géographique de Hassi R'mel

II.3. Présentation de l'aéroport de Hassi R'mel

Tableau II.1. Présentation de l'aéroport

Nom de l'aéroport	- TILGHEMT Hassi R'mel
Wilaya d'implantation	- Laghouat
Code OACI	- DAFH
Code AITA	- HRM
Classe de l'aéroport	- International catégorie N°2 - Selon la nouvelle classification Algérienne. - 4C - Selon l'OACI
Localisation	- 5Km de l'est de la ville de Hassi R'mel.
Nature juridique	- Civil
Altitude	- 765m
Longitude	- 003°18'53''E
Latitude	- 32°56'58''N
Température de référence	- 37°C

II.4. Géométrie de l'aérodrome

- La plateforme de l'aérodrome de Hassi R'mel est constitué de :
 1. Une piste principale (PP) orientée vers la direction Ouest-Est 08/26 de dimensions 3000x45m.
 2. Une Ancienne piste Abandonnée orientée vers la direction Ouest-Est 09/27, C'est la première piste de l'aérodrome qui est actuellement dégradée et non exploitée.
 3. Une bretelle de 515x45m.
 4. Une aire de stationnement de 200x100m.



Figure II.2. Géométrie de l'aérodrome de TILGHEMT

II.5. Caractéristique de la région

II.5.1. Géologie

La région de Hassi R'mel est située au Nord de la plate-forme saharienne à 550 km au sud d'ALGER et à 120 km au sud de la ville de Laghouat, elle fait partie structurellement à la plateforme saharienne et elle borde la dorsale du M'Zab dans sa partie Nord-Ouest. La région se caractérise par des formations géologiques affleurantes récentes.

II.5.1.1. Le Quaternaire

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

II.5.1.2. Le Tertiaire :

C'est les dépôts carbonatés sub-horizontaux du pliocène non affectés par la tectonique. Les limitations de cette formation sont :

- Au Sud : par des formations massives du Crétacé.
- Au Nord : par des ébauches de reliefs atlasiques.

II.5.2. La topographie

La topographie de la région de Hassi R'mel se divise en deux zones distinctes :

- **Zones à topographie haute** : c'est les zones montagneuses avec des reliefs plus ou moins élevés représentés par des petites collines.
- **Zones à topographie basse** : c'est les zones d'écoulement des eaux. Avec de multiples affluents, et des vallées à fond plat plus ou moins accidenté.

On trouve entre ces deux zones des plateaux à topographie calme, traversés par des petits cours d'eaux.

II.5.3. Climatologie du site

Le climat est l'ensemble des données physiques qui, avec ses variations, traduit l'environnement atmosphérique dans une région, c'est une ressource naturelle qui affecte une bonne partie des activités humaines. Connaître la climatologie du site avant de commencer l'étude est une étape décisive.

II.5.3.1. La température :

Ce paramètre est un facteur très important dans l'évaluation du déficit d'écoulement, et l'estimation du bilan hydrologique. Le climat de Hassi R'Mel est très contrasté, se traduisant par des étés chauds et des hivers froids, les températures moyennes mensuelles sont réparties en deux périodes:

- **Période chaude :**

Début à partir du mois de mai et se termine jusqu'à Octobre avec une température maximale au mois de Juillet, la moyenne mensuelle est de 32°C, et juillet étant le mois le plus chaud. La température peut atteindre les 45°, pendant la nuit ces températures descendent à moins de 25°, cet écart thermique entre le jour et la nuit exerce des chocs thermiques intenses.

- **Période froide :**

Début à partir du mois de Novembre et se termine jusqu'au mois d'Avril, avec une température maximale de 20 ° et minimale au mois de janvier de 5.25 °c qui peut descendre au-delà de 0°.

Tableau II.2. Températures moyennes mensuelles de Hassi R'Mel (2008-2017).

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Tmax en °C	16,069	20,554	25,767	29,987	35,231	39,286	38,437	33,118	27,066	19,847	15,489	16,281
Tmoy en °C	9,6548	13,723	18,534	22,712	27,843	31,937	31,29	26,5	20,555	13,482	9,3124	9,8641
Tmin en °C	3,2402	6,892	11,301	15,438	20,456	24,589	24,143	19,882	14,045	7,117	3,1361	3,4468

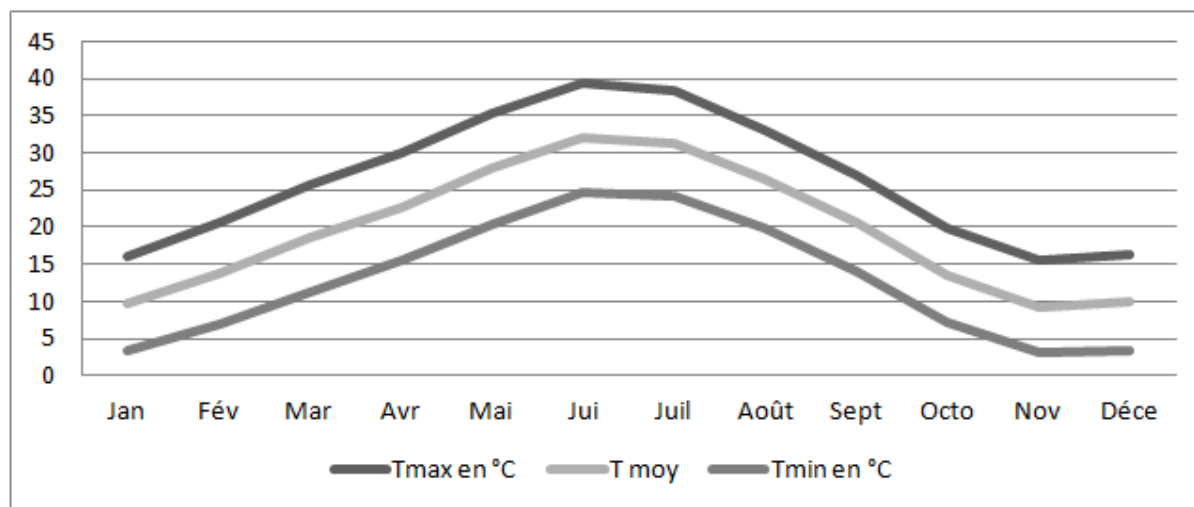


Figure II.3. Températures moyennes mensuelles de Hassi R'Mel (2008-2017).

II.5.3.2. Humidité relative :

C'est un élément essentiel dans l'étude du climat, l'humidité moyenne est de 20% en été et de 34% en hiver.

II.5.3.3. Le Vent

Le vent se produit sous l'effet de la différence de températures et de pressions. Pour la région de Hassi R'mel les vents sont de nature très violentes, très chaudes et très secs pendant les mois de juillet et août à dominance Nord-est qui arrive jusqu'à une vitesse de 80 km/h. Ces vents sont souvent accompagnés par la formation de tourbillon entraînant des quantités plus ou moins importantes de poussières ce qui cause les problèmes de visibilité.

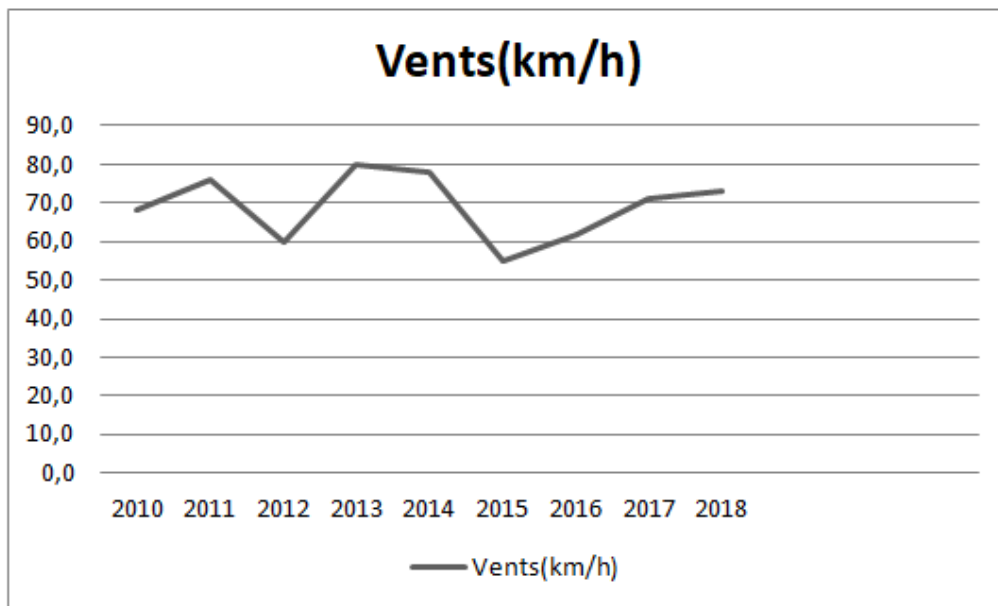


Figure II.4. Vents annuels moyens durant la période (2010-2018)

II.5.3.4. La pluviométrie

La région de Hassi R'Mel se caractérise par un climat sec pour la période estivale allant de Juin à Août, et un climat humide pour la période de Septembre à Mai. L'indice pluviométrique annuel est généralement de faible valeur, c'est-à-dire que notre région se caractérise par une faible pluviométrie annuelle de 124mm, les précipitations surviennent fréquemment sous forme d'orages plusieurs fois par année, le mois le plus pluvieux est le mois de Septembre avec 21.1mm en moyenne, et Juillet est le mois le plus sec avec 1.4 mm en moyenne.

Tableau II.3. Variations moyennes annuelles des précipitations (2008-2017).

L'année	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Les précipitations (mm)	223,4	154,6	160,6	148,4	155,3	151	157,2	152,8	162,5	135,8

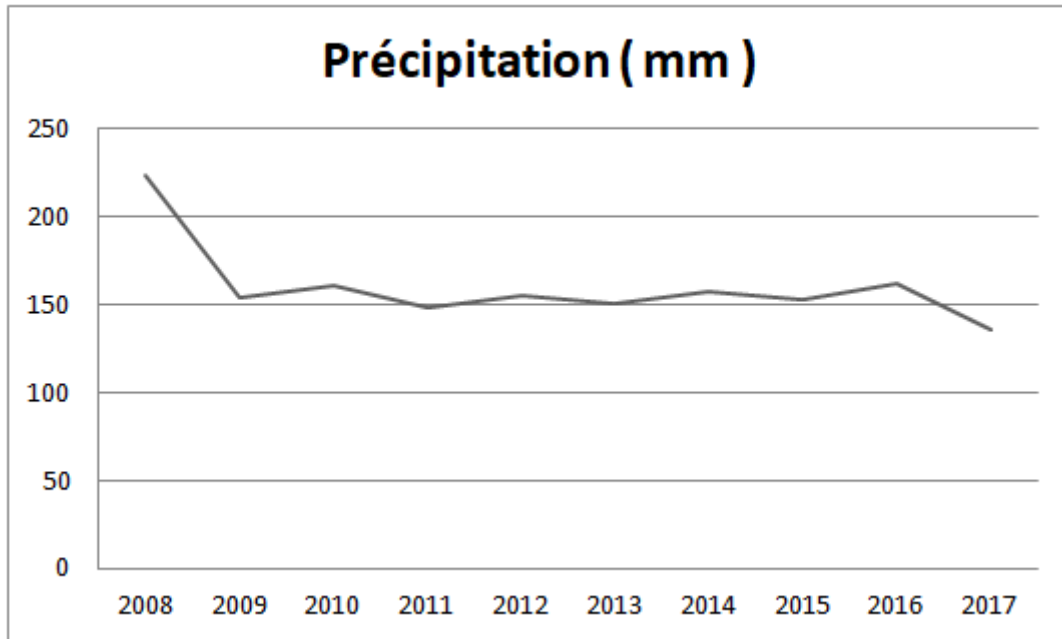


Figure II.5. Cumul de précipitations annuelles durant la période 2008-2017

Depuis « la Figure II.5 » on constate que la région de Hassi R'mel est caractérisé par une faible pluviométrie annuel dans la mesure où le cumul annuel des précipitations maximal enregistré en 2008 est : 223.4 mm.

II.5.4. Sismologie de la région

Il est important de connaître les conditions sismiques de la zone d'implantation du projet. Afin de se protéger des désordres significatifs qui peuvent être engendrés. 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.

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

L'Aérodrome de Hassi R'mel a été mise en service la première fois 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. En 2005 Une opération de traitement des fissures a été lancé afin d'entretenir la nouvelle piste. Cette opération a permis de prolonger la durée de vie de l'Aéroport.

Actuellement les travaux de renforcement sont en cours au niveau de la piste principale.

II.7. Evolution du trafic aérien

Le trafic aérien est représenté par le nombre de passage d'avions sur une aire aéronautique, ce paramètre est primordial dans le dimensionnement des structures des chaussées aéronautiques. Les données du trafic ont été recueillies auprès de l'établissement national de navigation aérienne (ENNA).

Le graphe suivant montre l'évolution du trafic de l'avion de référence **Boeing 737-800** pour les 6 dernières années.

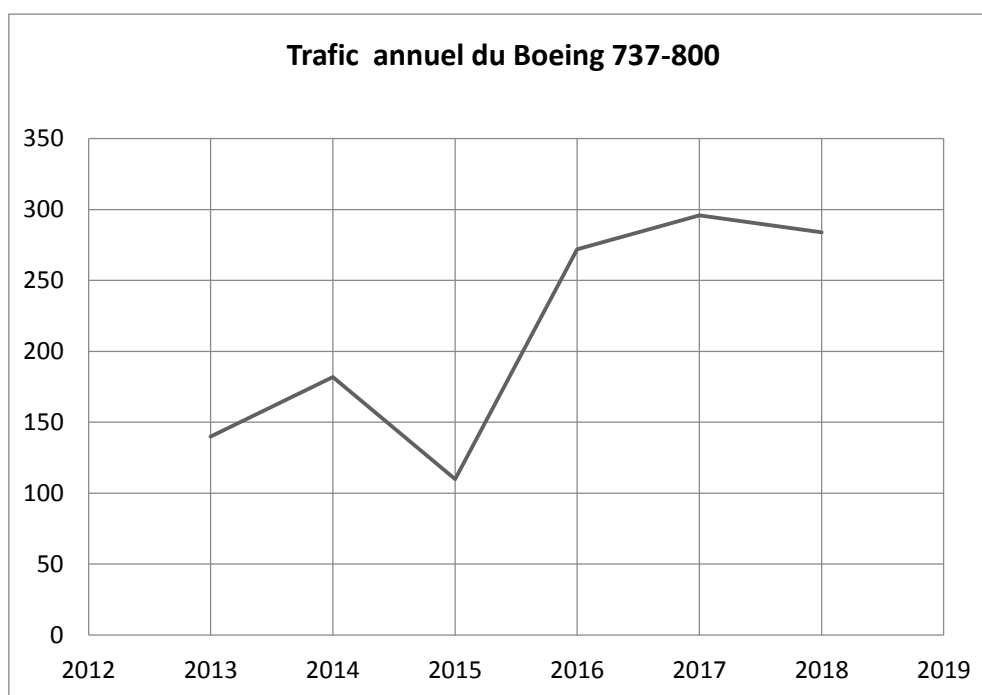


Figure II.6. Evolution du trafic Boeing 737-800 durant la période 2013-2018

- Les données du trafic des années 2017 et 2018 classées par aéronefs sont fournis en « **Annexe II : Présentation du projet** »

II.8. Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté la région de Hassi R'mel et l'aérodrome de TILGHEMT et leurs caractéristiques.

On remarque qu'il ya un manque d'infrastructures nécessaires d'un aérodrome, on cite :

- Les Prolongements d'arrêt (SWY).
- Les bandes de piste.
- Les aires de sécurité à l'extrémité de la piste (RESA).
- Une voie de circulation (Taxiway).

D'où ces éléments manquants sont indispensables pour un aérodrome, vu leur rôle important dans la sécurité des aéronefs et les usagers.

CHAPITRE III

AUSCULTATION DES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

III.1. Introduction

Les chaussées aéronautiques étant exposés à des intempéries, et recevant un trafic très lourd dès leur mise en service, Ces infrastructures sont susceptibles à se dégrader ce qui influe sur leurs stabilité et longévité et la qualité qu'elles doivent présenter.

À la fin de la durée de vie d'une chaussée aéronautique, les dégradations et les désordres peuvent se développer d'une façon plus rapide à cause des sollicitations intenses des appareils, Connaître la nature et l'origine de ces désordres permet de trouver des solutions adéquates.

III.2. Les dégradations

Les différents désordres, qui peuvent apparaître sur une chaussée après une certaine durée de sa mise en service sont appelés dégradations. Ces derniers peuvent prendre naissance dans n'importe quelle couche de la structure d'une chaussée.

III.2.1. Facteurs influant sur les dégradations des chaussées souples :

La dégradation d'une chaussée aéronautique est causée par plusieurs facteurs, on cite :

- Le trafic (Volume, Nature)
- Les conditions climatiques.
- La nature de sol support.
- Le dimensionnement du corps de chaussée.
- Absence d'un système de drainage.
- La qualité des matériaux de mise en œuvre.

III.2.2. Classification des dégradations dans les chaussées souples

Les dégradations sont classées en 4 familles principales selon le catalogue des dégradations établi par le service technique de l'aviation civil (STAC) comme suit :

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

➤ **Les déformations**

La déformation est un phénomène physique qui prend généralement naissance dans le corps de chaussée ou dans le sol support. On dit qu'il y a dégradation, lorsque ce phénomène devient visible sur la couche de roulement.

Les différents types de dégradations sont :

Les flaches
Les ornières
Les gonflements
Les déformations en W
Les tassements différentiels.

➤ **Les fissurations**

Les fissurations sont des lignes de rupture franches, perpendiculaires ou parallèles à l'axe de la chaussée, causées par la rupture d'une ou plusieurs couches de la chaussée lorsque les contraintes de traction admissibles sont dépassées.

Les types de fissurations sont :

Les fissures de fatigue ou de retrait
Le faïençage de fatigue ou de retrait
Les fissures de joint et les fissures paraboliques.

➤ **Les arrachements**

Les arrachements sont des phénomènes de rupture de l'adhésion entre les parties de la chaussée, et sont suivis de leurs disparitions. Ce type de dégradation affecte seulement la couche de roulement au début de son apparition mais peut s'aggraver en affectant les couches inférieures.

Les différents types d'arrachements sont :

Les nids de poule,
Les désenrobages et brûlures
Les pelades.
Le décollement

➤ **Autres dégradations**

Les autres types de dégradations sont :

Le ressuage

La contamination/ souillure

Les remontées de fines

Les dépôts de gomme, le poinçonnement et les enrobés poreux.

III.2.3. Niveau de gravité des dégradations

Le Service Technique des Bases Aériennes (STBA) a défini 3 niveaux de gravité qui sont :

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

III.3. Relevé des dégradations et auscultation des chaussées existantes

Lors d'une mission effectuée sur le site de l'aérodrome, il a été procédé au relevé visuel détaillé de dégradations au niveau des chaussées existantes de l'aérodrome de Hassi R'mel. Les relevés ont été effectués conformément au catalogue de dégradation STBA. La fréquence optimale des relevés est estimée à une fois par an pour l'ensemble des aires.

III.3.1 Synthèse et diagnostique du relevé de dégradations sur l'aérodrome de Hassi R'mel

Tableau III. 1. relevé des dégradations sur l'aérodrome de Hassi R'mel

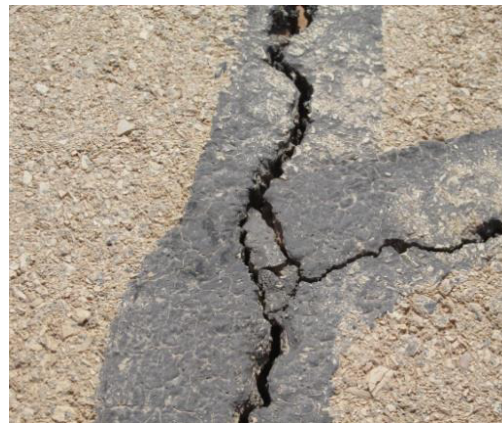
Aire	Type de dégradation
Piste Principale	<ul style="list-style-type: none"> - Ouverture de tous les joints d'épandage longitudinaux et transversaux. - Faïençages à maille large et à mailles fines localisées au niveau des joints longitudinaux de la bande centrale de la piste. - Départ des matériaux. - Présence d'enrobé poreux - Fissures longitudinales au milieu de toutes les bandes d'épandages et transversales répartie sur la totalité de la piste
Piste N°2	<ul style="list-style-type: none"> - Etat de dégradation avancé - Départ des matériaux - Absence de la couche des matériaux traités
Bretelle	<ul style="list-style-type: none"> - Fissuration et faïençage à mailles larges concentré au niveau de la jonction avec le parking
Parking	<ul style="list-style-type: none"> - Départ des matériaux. - Désenrobage généralisé. - Fissures des joints longitudinaux sur toute la longueur des bandes. - Faïençages à maille large. - La réouverture des joints colmatés
Accotements	<ul style="list-style-type: none"> - Désenrobage. - Des fissures

- **Remarque :**
- les fissures sont colmatées par « ACCOPLASTE », ce dernier est un produit pour l'étanchéité superficielle et la protection de la fissure.

- **Départ des matériaux**



- **Enrobé poreux**



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



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



III.3.2. Méthode de l'indice de service (IS)

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

- Définition :

L'indice de service est un indicateur numérique représentatif de l'état de la chaussée. Il peut prendre des valeurs comprises entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve). Ainsi sa valeur croît-elle avec le niveau de service offert par la chaussée, les correspondances étant les suivantes :

Tableau III.2. Niveau de service en fonction de l'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

- L'indice de service a été calculé par un logiciel gestion et de traitement des données aéroportuaires « SGBA ».
- Indice de service de l'aérodrome de Hassi R'mel est de 49%, ce qui correspond à un niveau de service passable.

III.4. Vérification de L'Uni

III.4.1. Matériel utilisé

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

L'appareil est composé de deux sondes laser, 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.



Figure III.1. Profilomètre placé à l'avant d'un véhicule

Notre profilomètre est doté aussi d'un appareil photo pour la capture des images lors de son passage sur les différentes chaussées.

III.4.2. Principe de mesure

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

Le principe de mesure est illustré comme suit :

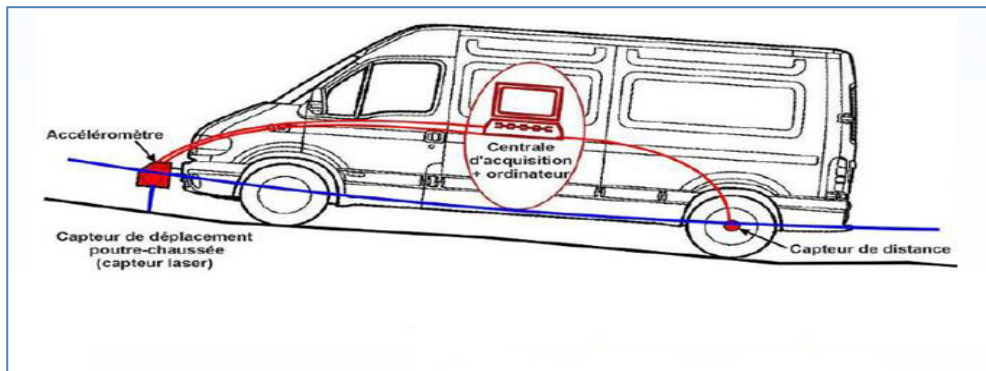


Figure III.2. Principe de mesure de l'uni

Les données obtenues sont enregistrées sous forme de profils en long, l'indice de planéité ou de confort ou roulement **IRI** « **I**nternational **R**oughness **I**ndex » 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.

III.4.3. Implantation des profils

Sept (07) profils de contrôle de l'uni ont été réalisés au niveau de la piste 08/26 de l'aérodrome de Hassi R'Mel, les profils sont implantés de manière à recouvrir les endroits les plus sollicités.

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

Tableau III.3. Position des profils (IRI)

Piste (08/26)	Positions des profils			
	Axe	3.5 mètres de part et d'autre de l'axe de la piste	07 mètres de part et d'autre de l'axe de la piste	12 mètres de part et d'autre de l'axe de la piste
Nombre de profil	01	02	02	02

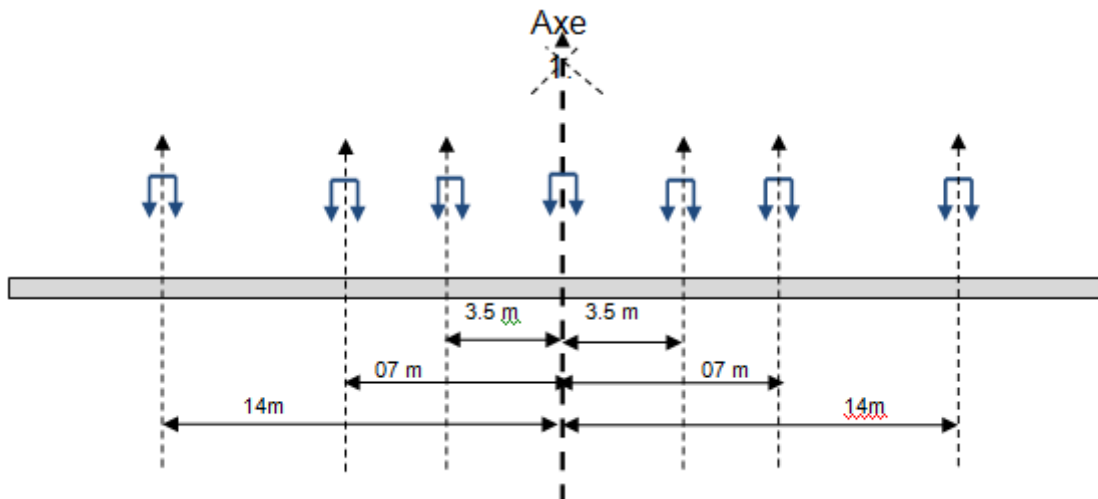


Figure III.3. Position des profils (IRI)

III.4.4. Analyse des résultats

Les valeurs moyennes d'IRI obtenus varient entre 1.93 et 2.46 m/Km, avec une moyenne de **2.17 m/km** Donc un état d'uni homogène et acceptable.

Les valeurs Obtenues d'IRI de chaque profil par des sections de 1000 m sont présentées dans « **le tableau III.4 Valeur IRI par profil** »

Profils	Piste d'atterrissage (08/26)			
	IRI (0.00 – 1.00 km)	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
7 g	2.23	2.28	2.23	2.25
14 d	2.40	2.41	2.30	2.37
14 g	2.35	2.43	2.59	2.46

Tableau III.4. Valeur IRI par profil

III.5. CONCLUSION :

Ce présent chapitre nous a permis d'évaluer l'état de service des différentes infrastructures de l'aérodrome de Hassi R'mel. En conclusion les dégradations sont superficielles et principalement des fissures longitudinaux et transversaux sur la couche de roulement, la réfection de la chaussée existante nous semble nécessaire. L'absence des voies de circulation favorise la détérioration de la chaussée, ce qui nous amène à faire une étude de création de celles-ci.

Chapitre IV

Etude Géotechnique

IV.1. Introduction :

La reconnaissance géotechnique constitue une source d'information indispensable à chaque étape pour l'étude de renforcement des infrastructures aéroportuaires de l'aérodrome de Hassi R'mel. Elle a pour objet l'identification des sols et l'analyse des caractéristiques mécaniques et physiques de ces derniers.

Le laboratoire des travaux publics du sud LTPS a élaboré un rapport d'investigation géotechnique suite à un programme établi par la société Algérienne d'études d'infrastructures **SAETI** comportant les essais suivants :

Essais in-situ :

- Puits de reconnaissance ;
- Mesure de déflexion par la méthode non destructive de l'HWD.

Essais de laboratoire :

- Analyses granulométriques par tamisage et sédimentométrie.
- Limites d'Atterberg.
- Analyses chimiques.
- Equivalent de sable.
- Essai Proctor modifié.
- Essai CBR.

IV.2. Campagne de reconnaissance

IV.2.1. Creusement des puits de reconnaissance

Les puits ont pour objet la reconnaissance géotechnique du sol support en vue de déterminer les caractéristiques physico-mécaniques des couches rencontrées.

Neuf (09) puits ont été excavés à des profondeurs variables entre 0.20 et 1.20 m.

- Résultat :

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.

IV.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.

- Résultat :

Les résultats obtenus de cette campagne ont montré que le sol support est constitué d'une formation compacte qui atteint les trois mètres 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.

IV.2.3. Sondage carotté

Six (06) sondages carottés fixés à 2 mètres de profondeur ont été effectués sur terrain, les coupes lithologiques obtenues peuvent se présenter comme suit :

Tableau IV.1. Résultats du sondage carotté

Sondage	Coordonnées	Profondeur (m)	Résultat
1	X=527989.6009 Y= 3643601.4796	[0.0-0.30]	- Sable fin graveleux à caillouteux (TVR).
		[0.30-2.00]	- Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant de blocs rocheux d'ordre décimétrique.
2	X=528643.3881 Y= 3643728.4373	[0.0-0.20]	- Sable fin graveleux à caillouteux (TVR)
		[0.20-2.00]	- Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
3	X=529301.4644 Y= 3643833.3077	[0.00-0.05]	- Une couche noire d'enrobé.
		[0.05-2.00]	- Remblai de terrassement repose sur un Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
4	X=529950.9625 Y= 3643982.3528	[0.00-1.50]	- Sable fin limoneux graveleux.
		[1.50-2.00]	- Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
5	X=530604.7498 Y= 3644109.3106	[0.00-0.20]	- Sable fin graveleux à caillouteux (TVR).
		[0.30-2.00]	- Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.
6	X=530931.6434 Y= 3644172.7895	[0.00-0.30]	- Sable fin graveleux à caillouteux (TVR).
		[0.30-2.00]	- Encroutement calcaire, blanchâtre, graveleux contenant des blocs rocheux d'ordre décimétrique.

IV.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.

Tableau IV.2. Caractéristiques géotechniques du sol support






Sol Support	Caractéristique mécanique	Caractéristique géotechnique	Caractéristique chimique
Encroutement Calcaire	$\gamma_d \text{ max} = 2.24 \text{ t/m}^3$	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_4^{2-}) = 4.01 %
	Cohésion = 0.21 bars	Un Equivalent de Sable de : 23 %	- Des Carbonates (CaCO_3) = 17 à 52
	Frottement = 37.49 degrés	-	-
	CBR Immédiat=94 CBR Imbibé 4 jours=42	-	-
Sol support rocheux	Aucune analyse n'a été effectuée pour les dalles calcaires, sachant qu'elles représentent une très bonne assise pour le projet et ne nécessitent pas des précautions spéciales.		

IV.4. Diagnostic du corps de chaussée existant

IV.4.1. Campagne de carottage sur le corps de chaussée

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

Tableau IV.3. Campagne de carottage sur la piste

N° Carotte	Epaisseur BB (cm)	Epaisseur GB (cm)	Profondeur de la fissure	Accrochage	Observation
C1	7.50	13.0	16.0	Bon	 <p>Fissure transversale</p>
C2	8.00	/	/	Mauvais	 <p>Fissure du joint longitudinal</p>
C3	8.00	12.5	12	Bon	 <p>Fissure longitudinale</p>
C4	7.80	/	/	Mauvais	 <p>Fissure du joint longitudinal</p>
C5	8.00	14.0	/	Bon	 <p>Zone intacte</p>

IV.4.2. Interprétation des résultats :

- Toutes les fissures prennent naissance en surface et elles se propagent vers les couches inférieures.
- L'ampleur des fissures varie entre, léger, moyen et élevé.
- L'ampleur des fissures est élevée au niveau des joints longitudinaux. Elles traversent toute la couche bitumineuse.
- les fissures touchent seulement la couche bitumineuse en BB dans les zones de faïençage à mailles larges.

IV.4.3. 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.

IV.5. Mesure de déflexion par la méthode de l'HWD

IV.5.1. Présentation de l'essai :

Le HWD (Heavy Weight Deflectometer) est un appareil monté sur une remorque et qui permet d'évaluer la portance des chaussées aéronautiques. Cet appareil est composé d'une masse tombante qui engendre à la surface de la chaussée, par l'intermédiaire d'une plaque rigide et d'un système d'amortissement, un chargement impulsionnel, qui permet de simuler le passage d'une roue d'avion.

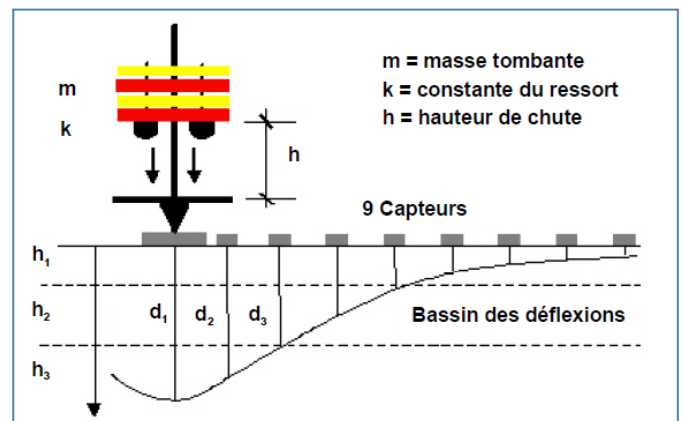


Figure III.1. Mesure des déflexions

Les déflexions engendrées sont mesurées pendant la période de chargement, au moyen de géophones disposés sous et aux abords de la plaque. L'objectif de cet essai est l'estimation des conditions fonctionnelles structurelles actuelles réelles des chaussées exprimées par :

- Les valeurs des déflexions.
- Les modules de rigidités de chaque couche.
- La durée de vie résiduelle de la chaussée existante.
- Les épaisseurs de renforcement.

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 de la piste principale.

IV.5.2. Plan d'intervention

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 368.

Les intervalles de mesure au niveau de chaque profil et le nombre des points de mesure relatifs sont donnés dans le tableau III.4. Comme suit :

Tableau IV.4. Position et nombre de points et intervalle de mesure

Profils	Position	Intervalle	Points de mesure
Profile Axe	Axe central de la piste principale	50	61
Profil 3.5D	3.5 ml à droite de l'axe central de la piste	50	61
Profil 3.5G	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

IV.5.3. Mesure des déflexions

D'après les graphes fournis en « **Annexe III-Etude géotechnique** » des déflexions de la piste principale on trouve les résultats suivants :

- 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) montre la présence d'un sol support dure et homogène.
- Les courbes des déflexions relatives aux géophones proches (D1, D2, D3, D4 et D5) montrent l'hétérogénéité de la portance des matériaux composant le corps de chaussée et éventuellement la couche de remblai.

IV.5.4. Calcul du module d'élasticité

Le module de surface est le module d'une seule couche équivalente qui va donner une déflexion en surface égale à celle enregistrée sur un système multicouche réel. Ce module permet de constater la présence des couches souples ou rigides, il est utilisé aussi pour donner une première estimation des modules d'élasticité de la chaussée.

Les graphes fournis en « **Annexe III-Etude géotechnique** » des modules d'élasticité montrent que :

Les modules d'élasticité E moyens de la couche bitumineuse varient entre 2098 Mpa et 2812Mpa, avec une moyenne générale égale à 2373 Mpa. 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.

1.1. Estimation de la durée de vie de l'aérodrome

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

Les durées de vie calculées pour la chaussée de l'aérodrome de Hassi R'Mel à base de 8000 mouvements par an par l'avion de référence BOEING 737-800

Tableau IV.5. Durée de vie moyenne de la piste

Profils	Nombre de stations	« D » Durée de vie moyenne (ans)
Axe central de la Piste d'atterrissage	61	D = 1.9
3.5ml A droite de l'axe central de la piste	61	D = 2.6
3.5ml A gauche de l'axe central de la piste	61	D = 2.7
7ml A droite de l'axe central de la piste	62	D = 0.9
7ml A gauche de l'axe central de la piste	61	D = 3.1
14ml A droite de l'axe central de la piste	31	D = 3.1
14ml A gauche de l'axe central de la piste	31	D = 3.3
Durée de vie moyenne		D = 2.51 Ans

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 $D = 0.9$ an. Ce choix est justifié par le fait que la piste présente le risque de départ des matériaux.

IV.6. Caractéristique des matériaux susceptibles d'être utiliser

Le laboratoire des travaux publics du sud LTPS a fait l'étude de deux zones d'emprunts de matériau pour la couche de forme et deux autres stations de concassage des agrégats pour la couche de fondation et la couche de roulement afin de voir leur conformité avec les exigences pour le renforcement de l'aérodrome de Hassi R'Mel.

IV.6.1. Matériau pour couche de forme et remblais

Deux (02) échantillons ont été prélevés et analysés au laboratoire.

Ces échantillons ont été soumis aux essais suivant:

- Proctor Modifié.
- La résistance à la compression simple.
- Limite d'Atterberg.

Les résultats obtenus sont représentés comme suit :

Tableau IV.6. Les résultats des essais sur les échantillons prélevés

La Zone d'emprunt	Coordonnées GPS	Essais d'identification	Essais mécaniques	Essai chimique
Zone N°1	32°56'23.56N 2°19'08.69E	Le pourcentage des fines (<0.080 mm) varie de 18 à 31%	γ_d max =1.97 t/ m3	Les insolubles 23-44% Les carbonates 50-67%
		Le coefficient d'uniformité est de 1.68	Wopm=10.5%	
		Indices de plasticité (IP) : 35%	- La résistance à la compression simple à 98% de O.P.M :32 bars La résistance à la compression simple à 100% de O.P.M :36 bars	
Zone N°2	31°05'95.51S 36°54'98.36E	Le pourcentage des fines (<0.080 mm) est de 25%	γ_d max =1.87 t/ m3	Les insolubles: 39% Les carbonates : 53%
		Le coefficient d'uniformité est de 1.35	Wopm=12.5%	
		Indices de plasticité (IP) : 16%	R à la compression simple à 98% de O.P.M :13 bars	

IV.6.1.1. Interprétation des résultats:

D'après les résultats obtenus après l'analyse des échantillons prélevés sur les deux zones d'emprunt, on conclut que les matériaux présentent :

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

IV.6.2. Matériaux pour couche de base et revêtement

➤ **Carrière N°1:**

Il s'agit de la station de concassage de l'entreprise GCB Hassi R'mel, Elle est située à environ 1 km du projet.

La roche dans cette carrière est une roche calcaire dure.

➤ **Carrière N°2 :**

Il s'agit de la station de concassage "Rocada", Elle est située à Oued Satafa à environ 50 kms du projet.

La roche dans cette carrière est une roche calcaire;

Les résultats des essais effectués sur des échantillons prélevés des deux stations sont résumés dans les tableaux IV.7 et IV.8 comme suit :

Tableau IV.7. 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 IV.8. Résultats des essais effectués sur les deux carrières du gravier

Carrière N°	Classe	AP (%)	LA (%)	MDE (%)
01	3/8	26	21	17
	8/15	23	19	14
	12	12	18	14
02	3/8	28	32	18
	8/15	19	25	20
	5/25	7	28	26

IV.6.2.1. Interprétation des résultats :

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

IV.7. Conclusion

L'étude géotechnique de l'aérodrome de Hassi R'mel nous a permis de déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des sols prélevés de différentes aires de manœuvre de l'aérodrome.

Les différents essais réalisés nous ont conduits aux constatations suivantes :

- Le sol support de l'aérodrome de Hassi R'mel présente une bonne portance
- Les matériaux des zones d'emprunt sont conformes et peuvent être utilisés sans restriction.
- Les sondages carottés prélevés sur le corps de chaussées ont révélé que les fissures présentes ne dépassent pas les matériaux traités (BB, GB).

Chapitre V

Conception et étude géométrique

V.1. Introduction

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

V.2. Caractéristiques géométriques de l'aérodrome De Hassi R'mel

V.2.1. Piste principale PP 08/26

Tableau V.1. Les caractéristiques géométriques de la piste principale

Caractéristiques Géométriques	Longueur de la piste	3000 Km
	Largeur de la piste	45 m
Profil en long	Pente moyenne (maximale)	1 %
	Changement de pente longitudinale (maximale)	1.5 %
	Rayon de raccordement	30 000 m
Profile en travers	Pente transversale	1
Accotements	Largeur	7.5 m
	Pente transversale	1.5 %
Raquette de manœuvre	Pente transversale	1.5 %

V.2.2. La bretelle

Tableau V.2. Les caractéristiques géométriques de la bretelle

Caractéristiques géométriques	Longueur	550 m
	Largeur	25 m
Profil en long	Pente longitudinale	1.5 %
	Rayon de courbure minimal	3000m
Profil en travers	Pente transversale	1 %
Accotements	Largueur	9.5m
	Pente transversale	1.5 %

V.2.3. Le Parking

Tableau V.3. Les caractéristiques géométriques du parking

Caractéristiques géométriques	Longueur	200m
	Largeur	100m
Profil en long	Pente longitudinale (maximale)	1%
Accotements	Largeur	9.5m
	Pente transversale	1%

V.3. La mise en norme de l'aérodrome de Hassi R'mel

D'après les normes exigées par l'OACI pour permettre aux aéronefs d'effectuer les différentes manœuvres en toute sécurité, l'aérodrome TILGHEMT a besoin d'une remise en norme des infrastructures à savoir :

- Création d'une bande de piste.
- Création de l'aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA).
- Prolongement d'arrêt POR (SWY).
- Des bandes sécurisantes de part et autre de la bretelle et du parking.
- Aménagement d'une voie de circulation (Taxiway).

V.3.1. Création d'une bande de piste

Il s'agit de la zone autour de la piste elle-même. Elle est dépourvue de tous les obstacles qui pourraient interférer avec le vol et le roulage des avions. Elle sert à réduire les risques de dommage auxquels est exposé un aéronef qui sort accidentellement de la 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.

V.3.2. Création de l'Aire de sécurité d'extrémité de piste (RESA)

Les aires de sécurité d'extrémité de piste sont destinées à réduire les risques matériels d'un aéronef se posant trop court ou trop long.

- Longueur : 100 m.
- Largeur : 90 m.
- Pente transversale : 3%
- Pente longitudinale : 3%

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

- Largeur : 4m.
- Pente transversale : 2%.
- Pente longitudinale : 2%.

V.3.4. Création du prolongement d'arrêt (SWY)

Le prolongement d'arrêt est un élément essentiel de sécurité, son utilité se manifeste lorsqu'un Avion atterrirait trop court ou dépasse la piste.

- Longueur: 60 m.
- Largeur : 60 m.
- Pente transversale : 1%.
- Pente longitudinale: 1.5 %.

V.3.5. Aménagement de la voie de circulation (Taxiway)

L'absence d'un taxiway au niveau de l'aérodrome de Hassi R'mel a fait en sorte que les différents aéronefs utilisent la piste principale pour le roulage au sol, ce qui a accentué les fissures et les dégradations de cette dernière. A cet effet, et dans le but de réduire au maximum le temps de roulage au sol, nous avons décidé de concevoir un taxiway.

Tableau V.4. Les caractéristiques géométriques de la voie de

Caractéristiques géométriques	Longueur	1530 m
	Largeur	25 m
Profil en long	Pente longitudinale Maximale	1%
	Rayon de courbure	3000 m
Profil en travers	Pente transversale	1.5%
Accotement	Largeur	10 m
	Pente transversale	1.5%
Bande	Largeur	4 m
	Pente transversale	2.5%
Rayon du virage choisi		50

V.4. CONCLUSION

La mise en norme de l'aérodrome TILGHEM va permettre aux aéronefs d'effectuer les différentes manœuvres sur toutes les infrastructures en toute sécurité.

CHAPITRE VI

Dimensionnement de L'aérodrome de Hassi R'mel

VI.1. Introduction

Le dimensionnement d'un corps de chaussée neuf pour l'aérodrome de Hassi R'mel consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches de renforcement afin qu'elles puissent résister aux sollicitations auxquelles elles seront soumises durant la durée de vie estimée.

VI.2. Type de chaussées aéronautiques

On distingue quatre types de chaussées aéronautiques, selon la nature des matériaux constituant les différentes couches de la chaussée :

- Chaussées souples.
- Chaussées semi-rigides.
- Chaussées rigides.
- Chaussées composites.

VI.2.1. Chaussée souple

La chaussée souple est constituée d'une couche de roulement, d'une couche de base composée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et d'une couche de fondation en matériaux non traités.

VI.2.2. Chaussée semi-rigide

Elle est composée d'une couche de surface constituée de matériaux traités aux liants hydrocarbonés et d'une couche de base constituée de matériaux traités aux liants hydrauliques. Ce type de chaussées est déconseillé car il présente plusieurs inconvénients.

VI.2.3. Chaussée rigide

Elle est constituée par une dalle de béton de ciment et une couche de fondation en grave ciment. Dans ce type chaussé la couche de roulement et la couche de base sont confondus.

VI.2.4. Chaussée composite

Elle résulte du renforcement d'une chaussée rigide par une chaussée souple. Cette chaussée est donc constituée par une couche de surface en matériaux traités aux liants hydrocarbonés reposant sur une dalle en béton de ciment jouant le rôle d'une couche de base.

On conclut que les deux catégories principales des chaussées aéronautiques sont les chaussées souples et les chaussées rigides.

VI.3. Critères de choix du type de chaussée

Les chaussées souples et les chaussées rigides convenablement dimensionnées et construites peuvent être utilisées aussi valablement les unes que les autres.

Le choix doit être fait en fonction de plusieurs facteurs en particulier :

- Les coûts de construction.
- Les conditions locales d'approvisionnement en matériaux.
- Le climat.
- Le sol support ;
- Les possibilités d'assurer l'entretien convenable et peu onéreux.
- Le trafic.
- Les délais d'exécution.
- L'entreprise de réalisation.

Les avantages et les inconvénients de chaque type de chaussée se résument comme suit :

Tableau VI.1. Avantages et inconvénients des chaussées souples et rigides.

Type de chaussée	Avantages	Inconvénients
Chaussée souple	<ul style="list-style-type: none"> - Absence de joints. - Réparation et renforcement facile. 	<ul style="list-style-type: none"> - Entretien onéreux. - Mauvaise résistance au carburant et réacteurs. - Fondation importante. - Visibilité moins bonne de la piste.
Chaussée rigide	<ul style="list-style-type: none"> - Moins de terrassements. - Peu d'entretien. - Résistance au carburant. - Meilleure visibilité. - Grande dureté. - Imperméable. - séchage rapide et nettoyage facile. 	<ul style="list-style-type: none"> - Présence de joints. - Risque de fissuration. - Réparation des joints (coûteuse). - Réparation et renforcement difficile.

VI.4. Méthodes de dimensionnement du corps de chaussée

VI.4.1. Méthode empirique « STBA »

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

- La durée de vie de la chaussée est fixée à 10 ans.
- Le trafic journalier est fixé à 10 mouvements.

Ces hypothèses ont permis d'établir les abaques de dimensionnement.

La méthode empirique permet de faire un dimensionnement forfaitaire ou optimisé.

➤ **Méthode de dimensionnement forfaitaire**

La méthode forfaitaire permet de dimensionner la chaussée en fonction de la charge de référence correspondante à la charge maximum de l'avion le plus contraignant (Dans notre cas le il s'agit du Boeing 737-800).

Le dimensionnement est calculé dans les conditions de trafic normal, soit dix mouvements par jour pendant dix ans de la charge de calcul.

➤ **Méthode de dimensionnement optimisée**

Contrairement à la méthode forfaitaire, 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.

VI.4.2. Méthode analytique

Les méthodes analytiques permettent de dimensionner n'importe quel type de chaussée tout en prenant en compte l'environnement dont lequel ces chaussées viennent s'inscrire, à savoir les contraintes climatiques qui jouent un rôle très important.

VI.5. Dimensionnement de la chaussée par la méthode forfaitaire

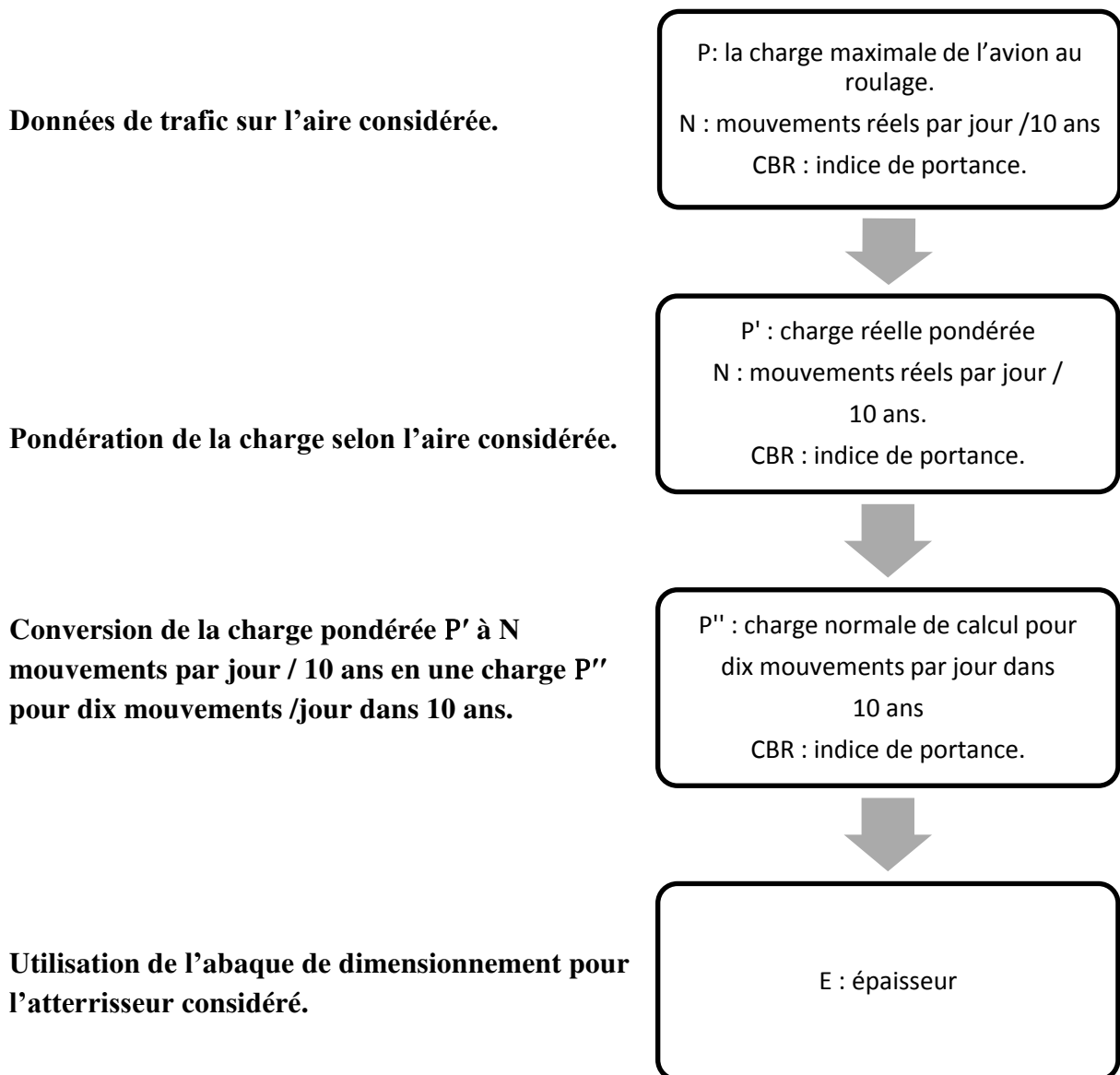
Nous avons utilisé la méthode forfaitaire pour établir les épaisseurs nécessaires pour le renforcement du corps de chaussée de l'aérodrome de Hassi R'mel.

Les données nécessaires sont les suivants :

- Avion de référence : B737-800.
- Masse maximale : $P = 79.5$ Tonnes.
- Distribution de charge : 46.77 %.
- Pression des pneus du B737-800 : 1.41 Mpa ;
- California Bearing Ratio (CBR) : 12.
- Estimation de trafic : $N = 10$ Mouvements / jour.

VI.5.1. Principe de la méthode

L'organigramme suivant explicite la procédure de la méthode de dimensionnement forfaitaire:



VI.5.2. Pondération de la charge réelle

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.

Cette charge fera l'objet de deux pondérations à savoir :

Pondération selon la fonction des aires.

Pondération selon l'intensité moyenne du trafic.

VI.5.2.1. Pondération selon la fonction des aires.

La charge réelle (P) est pondérée une première fois selon la fonction des aires : $P' = P \times C$

Les pourcentages de la charge de dimensionnement sont présentés comme suit :

Tableau VI.2. Pourcentage de la charge réelle

Chaussée	% de la charge réelle
Piste d'envol	100%
Bretelle	100%
Voie de circulation	100%
Parking	120%
Accotements	50%
Prolongements d'arrêt (SWY)	70%

VI.5.2.2. Pondération selon l'intensité moyenne du trafic

La pondération selon l'intensité moyenne du trafic se fait comme suit :

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

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

- CT : coefficient du trafic

Avec : $CT = 1.2 - 0.2 \log(n)$, pour $n=10$ on obtient $CT=1$.

« Le tableau V.2 » résume les résultats de calcul de la charge normal de calcul pour chaque aire.

Tableau VI.3. Charge normale de calcul pour chaque aire

	La piste + Bretelle + Voie de Circulation	SWY	Parking	Les Accotements
Masse max (t)	79.5	79.5	79.5	79.5
% de charge sur l'atterrisseur principal	46.77	46.77	46.77	46.77
Charge réelle P en (t)	37.18	37.18	37.18	37.18
Coefficient de pondération C	1	0.7	1.2	0.5
Charge réelle pondérée P'=P×C (t)	37.18	26.026	44.62	18.59
CT pour N=10 mvt/jour	1	1	1	1
Charge normale de calcul P''=P'/CT	37.18	26.026	44.62	18.59

VI.5.3. 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 fourni en « **Annexe VI- Dimensionnement de l'aérodrome de HASSI R'MEL** ».

Tableau VI.4. Epaisseur équivalente pour chaque aire

	La Piste Principale	Bretelle	la voie de circulation	SWY	Parking	Les Accotements
Epaisseur équivalente pour un CBR=12 (cm)	52			42	60	32

➤ **Epaisseurs 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 de l'abaque des épaisseurs équivalentes minimales des matériaux traités fourni en « **Annexe VI- Dimensionnement de l'aérodrome de HASSI R'MEL** ».

Tableau VI.5. Epaisseur équivalente minimales des matériaux traités pour chaque aire

	La Piste Principale	Bretelle	La Voie de circulation	SWY	Parking	Les Accotements
Epaisseur équivalente minimale des matériaux traités	30			24	32	18

➤ **Epaisseur 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.

- Les coefficients d'équivalence sont :

- Pour le béton bitumineux BB

Tableau VI.6. Coefficients d'équivalence pour le béton bitumineux (BB)

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

- Pour la grave bitume GB

Tableau VI.7. Coefficients d'équivalence pour la grave bitume (GB)

Etat	Coefficient d'équivalence
Neuf	1.5
Usé	1.2

- Pour la grave non traité GNT

Tableau VI.8. Coefficient d'équivalence pour la grave non traité (GNT)

Matériau utilisé	Coefficients d'équivalence
GNT 0/31.5	0.75

➤ **Epaisseurs équivalentes des chaussées existantes**

Tableau VI.9 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)
La piste 08/26	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		
Accotements	BB	5	1.5	7.5	40	19.5
	GB	8	1.5	12		
	GBT	20	1	20		

VI.5.4. Proposition d'épaisseur réelle d'une chaussée neuve

Tableau VI.10 épaisseurs réelles pour la méthode direct

Aire	Couche	Epaisseur Réelle (cm)	Coefficient d'équivalence (cm)	Epaisseur Equivalente	Epaisseur des matériaux traités (cm)
Piste Principale Bretelle Voie de circulation	BB	8	2	16	32
	GB	12	1.5	18	
	GNT	28	1	28	
TOTAL		48	-	62	
Le Parking	BB	8	2	16	34
	GB	14	1.5	21	
	GNT	32	1	32	
Total		54	-	69	
Les Accotements	BB	8	2	16	23
	GB	10	1.5	15	
	GNT	15	1	15	
Total		33	-	46	
SWY	BB	8	2	16	27
	GB	10	1.5	15	
	GNT	20	0.75	15	
Total		38	-	46	

VI.6. Proposition d'épaisseur réelle de renforcement

D'après « le **Tableau IV.8** » une chaussée neuve présente une épaisseur équivalente de 55 cm, or sur notre chaussée existante l'épaisseur équivalente est de 39 cm (l'épaisseur la 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

VI.6.1. Calcul des épaisseurs après le décapage de 8 cm de BB

Tableau VI.11. Epaisseur réelle des aires après un fraisage de 8 cm de BB

Aire	Couche	Epaisseur réelle (cm)	Coefficient d'équivalence	Epaisseur d'équivalence (cm)	Epaisseur équivalence totale (cm)	Epaisseur résiduelle des matériaux traités (cm)
Piste Principale	GB	12	1.2	14.4	40	15
	GNT	25	1	25		
Bretelle	GB	12	1.5	18	43	18
	GNT	25	1	25		
Parking	GB	12	1.2	14.4	40	15
	GNT	25	1	25		

D'après « le tableau VI.11 » 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 :

La Piste principale, la bretelle, La voie de circulation et les SWY

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

Le Parking

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

Accotement

- 8 cm de BB

VI.7. Conclusion

Le dimensionnement du corps de chaussée des infrastructures de l'aérodrome de Hassi R'mel s'est basé sur les recommandations du « STBA », Afin qu'il puisse supporter les différentes contraintes qui lui seront appliquées et auxquelles il sera soumis le long de sa durée de vie.

Dans le chapitre suivant, nous aborderons le calcul des charges admissibles.

CHAPITRE VII

Calcul des charges admissibles

VII.1. Introduction

Afin de maintenir le trafic en toute sécurité et conserver les qualités et la longévité de la chaussée, Il est indispensable de calculer les charges admissibles.

Dans ce présent chapitre nous allons aborder la méthode de gestion des chaussées aéronautiques ACN- PCN.

VII.2. Méthode ACN-PCN

La méthode ACN/PCN est un système normalisé par l'OACI et adopté comme outil de gestion des chaussées aéronautiques, aussi bien sur les aérodromes civils que militaires. Cette méthode consiste à établir l'admissibilité des avions (caractérisés par leur ACN), en fonction de la capacité portante des chaussées (caractérisée par son PCN) de l'aérodrome. Un avion est admissible sans restriction sur une chaussée aéronautique si $ACN < PCN$.

VII.3. Publication de la force portante d'une chaussée selon la méthode ACN-PCN

La méthode ACN-PCN a pour but de publier la force portante d'une chaussée en indiquant les renseignements suivants :

- Numéro de classification de chaussée PCN.
- Type de chaussée considérée pour la détermination des numéros ACN-PCN.
- Catégorie de résistance du sol de fondation.
- Catégorie de pression maximale des pneus ou pression maximale admissible des pneus.
- Méthode d'évaluation.

VII.4. Numéro de classification d'aéronefs ACN

L'ACN est défini, selon l'OACI, comme étant un nombre qui exprime l'effet relatif d'un aéronef sur une chaussée pour une catégorie type spécifié du terrain de fondation.

VII.4.1. Détermination de l'ACN

L'ACN est également une fonction linéaire de la masse Pt de l'avion, selon la formule suivante:

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

Avec:

M: Masse réelle de l'avion

M_{max}: Masse de l'avion a charge maximale

M_{min}: Masse de l'avion a charge minimale

ACN_{min}: ACN à la charge minimale de l'avion

ACN_{max}: ACN à la charge maximale de l'avion

On doit calculer l'ACN du Boeing B737-800 pour la masse maximale, sur une chaussée souple, En sachant que CBR=12 et La pression des pneus du train principal est de 1.41Mpa. Les ACN sont déterminés comme suit :

Tableau VII.1. L'ACN du B737-800

	M(tonnes)	ACN chaussées souples (F)				ACN chaussées rigides (R)			
		Classe de CBR				Classe de K			
		A	B	C	D	A	B	C	D
B737-800	77	44	46	51	56	51	53	55	57
	40	21	21	23	26	23	25	26	27

D'après le tableau ci-dessus :

- *ACN_{max}* correspondant à *M_{max}* est égal à 46 ;
- *ACN_{min}* correspondant à *M_{min}* est égal à 21.

Tableau VII.2. L'ACN du B737-800 dans le cas de la chaussée souple

	M (tonnes)	ACN (CBR=12)
B737-800	77	46
	44	21

Donc ACN = 46.

VII.5. Numéro de classification de chaussée PCN

Le PCN est défini, selon l'OACI, comme étant un nombre qui exprime la force portante d'une chaussée pour une exploitation sans restriction.

L'indice PCN est un nombre sans unités, affecté d'un code de 4 lettres apportant les renseignements suivants :

VII.5.1. Type de chaussée

Tableau VII.3. Type de chaussée et lettre du code correspondant

Type de chaussée pour la détermination des numéros ACN-PCN	Lettre de code
Chaussée rigide	CODE R
Chaussée souple	CODE F

VII.5.2. Catégorie de résistance du terrain de fondation

Tableau VII.4. Catégorie de résistance du terrain de fondation

Catégorie de résistance du terrain de fondation	Lettre de code
Résistance élevée: caractérisée par $K=150 \text{ MN/m}^3$ et représentant toutes les valeurs de K supérieures à 120 MN/m^3 pour les chaussées rigides, et par $\text{CBR}=15$ et représentant toutes les valeurs CBR supérieures à 13 pour les chaussées souples.	A
Résistance moyenne: 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
Résistance faible: caractérisée 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 CBR de 4 à 8 pour les chaussées souples.	C
Résistance ultra-faible: caractérisée par $K=20 \text{ MN/m}^3$ et représentant toutes les valeurs de K inférieures à 25 MN/m^3 pour les chaussées rigides, et par $\text{CBR}=3$ et représentant toutes les valeurs CBR inférieures à 4 pour les chaussées souples.	D

VII.5.3. Catégorie de pression des pneus

Tableau VII.5. 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 1.50 Mpa	X
Faible : pression limitée à 1.00 Mpa	Y
Très faible : pression limitée à 0.50 Mpa	Z

VII.5.4. Méthode d'évaluation

Tableau VII.6. Méthode d'évaluation

Méthode d'évaluation	Lettre de code
Evaluation technique : étude spécifique des caractéristiques de la chaussée et utilisation de techniques d'études du comportement des chaussées.	T
Evaluation par expérience : 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

VII.5.5. Détermination du PCN

Le calcul des PCN est basé sur la méthode éditée par le service des bases aériennes Français. Il se fait par l'une des deux méthodes suivantes :

- **Calcul forfaitaire** : dans ce cas, seules les caractéristiques de la chaussée sont prises en compte.
- **Calcul optimisé** : il fait appel, en plus des caractéristiques de la chaussée, au trafic de référence (ne prend en compte que les avions ayant un effet significatif sur la chaussée).

VII.5.5.1. Calcul de PCN par la méthode forfaitaire

Dans notre cas chaussée est souple, le PCN est égale à :

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

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

Avec :

- H(CBR) : coefficient déterminé à l'aide d'un abaque ;
- RSI : charge maximale admissible en tonnes ;
- e : l'épaisseur équivalente de la chaussée exprimée en cm ;
- Log : logarithme décimal.

D'après l'abaque des valeurs du coefficient H(CBR) pour le calcul du PCN approché des chaussées souples on trouve H(CBR) = 1.7.

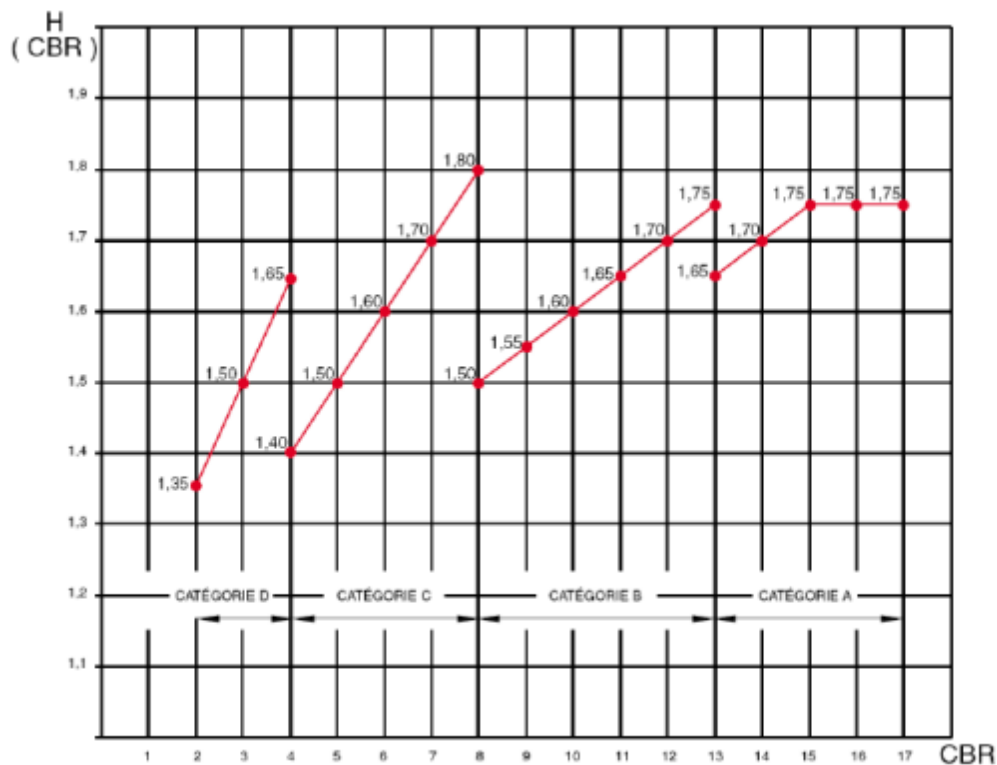


Figure VII.1. Abaque des valeurs du coefficient H(CBR) pour le calcul du PCN des chaussées souples

- Application numérique :
RSI = 38.23
PCN = 65

- Tableau récapitulatif du PCN à publier.

Tableau VII.7. Récapitulation du PCN à publier

La Codification	Du PCN
Chaussée souple	F
Sol support de catégorie	B
Pression de pneumatique	W
Evaluation technique	T

Donc le PCN à publier est : **PCN 65/F/B/W/T.**

VII.6. Admissibilité des avions selon la méthode ACN-PCN

Pour connaître les conditions d'admissibilité d'un avion à sa charge réelle sur une chaussée donnée, il suffit de comparer l'ACN de l'avion au PCN de la chaussée.

Cette comparaison permet à tout avion de savoir s'il peut utiliser la chaussée sans restriction :

Tableau VII.8. Admissibilité des avions selon ACN-PCN

$ACN \leq PCN$	l'avion est admissible sans restriction (sous réserve de vérifier la pression des pneumatiques).
$ACN \geq PCN$	une procédure particulière est réservée à cette situation (RRTA paragraphe 4.5.2- cas du dépassement du PCN).

- **Pour notre cas : $ACN = 46 < PCN = 66$**

VII.7. CONCLUSION

L'avion critique B737-800 est admissible et peut manœuvrer sur l'aire de l'aérodrome sans restriction.

CHAPITRE VIII

Proposition des variantes

VIII.1. Introduction

Afin de choisir une variante optimale vis-à-vis les critères exigés pour le renforcement de l'aérodrome de Hassi R'mel, la proposition de plusieurs solutions adéquates et une analyse multicritère est une étape indispensable.

VIII.2. Problématiques

La notion de renforcement des chaussées aéronautiques s'exige dans les cas où :

- De nouveaux appareils, plus contraignants fréquentent l'aérodrome.
- La portance de la chaussée devient insuffisante.
- La circulation des aéronefs devient dangereuse, à cause de l'ampleur des dégradations de l'aérodrome.

VIII.3. Les facteurs essentiels pour le choix d'une structure de renforcement :

Le choix d'une structure de renforcement dépend de:

- L'entreprise
- Les coûts et les délais d'exécution.
- Le climat de la région
- La disponibilité des matériaux locaux.

VIII.4. Proposition des variantes

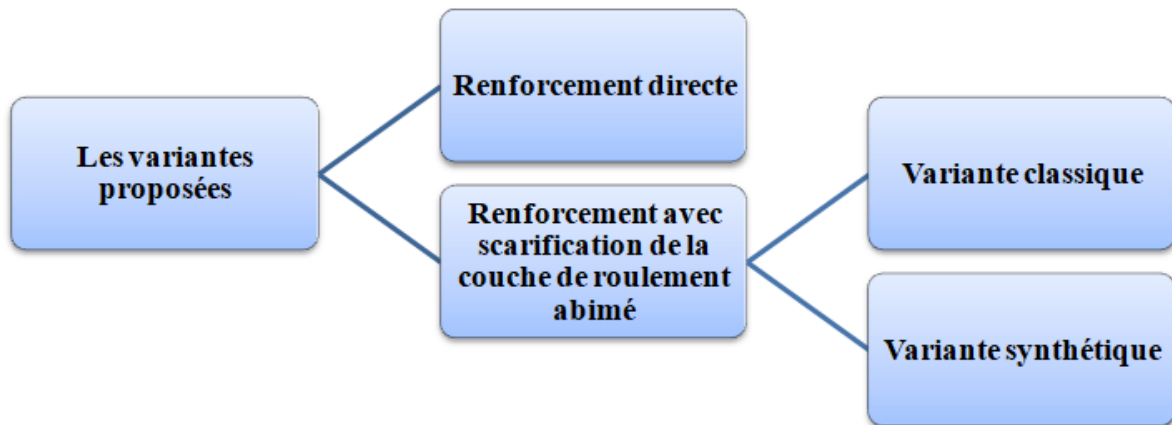


Figure VIII.1. Les variantes proposées

➤ **Renforcement directe**

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.

➤ **Renforcement avec scarification de la couche de roulement abimé**

Cette méthode consiste à remplacer 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 des aires à renforcer.

Pour cette méthode deux variantes sont proposées:

- Une variante classique
- Une variante synthétique

VIII.5. La mise en œuvre des variantes proposées

VIII.5.1. Renforcement directe

➤ **La piste principale 08/26 + Bretelle**

- Traitements des fissures avec nettoyage par un soufflage d'air pour éliminer la poussière.
- Mise en œuvre de deux produits de colmatage des fissures :
 - 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 pour éliminer la poussière.
- Mise en œuvre de deux produits de colmatage des fissures :
 - 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.

➤ **La voie de circulation**

- Mise en place d'une couche de GB de sur 10 cm.
- Mise en place d'une couche d'accrochage en émulsion ;
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) sur 10 cm

VIII.5.2. La variante classique

➤ La Piste principale 08/26 et la bretelle

- Scarification totale 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 totale 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.

➤ La voie de circulation

- 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.

VIII.5.3. La variante synthétique

➤ La piste principale 08/26 et la 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 place d'une couche de reprofilage de BB (0/10) de 3cm
- Mise en place de la géogrille sur la couche d'accrochage ;
- 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.

➤ **La voie de circulation**

- 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 de la géogrille sur la couche d'accrochage.
- Mise en œuvre d'une couche de BB (0/14) de 8 cm.

VIII.5.3.1. Caractéristiques géogrille HaTelit C40/17 utilisée

La géogrille HaTelit C 40/17 est composée d'une grille de renforcement en polyester à module élevé, combinée avec un non-tissé ultraléger, le tout est enduit de bitume. Elle constitue une solution durable et économique qui résiste remarquablement aux sollicitations dynamiques sur la durée grâce aux propriétés du polyester. Elle est caractérisée par :

➤ **Une pose simple et sûre**

- L'enduction bitumineuse garantit une très bonne adhérence sur le support
- Le système d'aide à la pose fait gagner du temps et assure une bonne stabilité
- Le produit est disponible en rouleaux mesurant jusqu'à 150 m de long et de largeur variable (5 m max.) de manière à limiter les recouvrements et à accroître les cadences de pose
- La souplesse optimale des produits facilite la tâche lors de la pose

➤ **Une Résistance à l'endommagement lors de la mise en œuvre**

- Lors de la circulation sur le chantier de camions d'approvisionnement et de véhicules à chenilles (finisseurs...)
- Lors du compactage de l'enrobé
- Lors de la pose sur une surface fraisée

➤ **Une bonne liaison des couches**

- Liaison du renforcement avec l'enrobé et entre les couches d'enrobé
- Bonne imbrication des couches d'enrobé grâce au système d'aide à la pose composé d'un non-tissé ultraléger (point de fusion > 150 °C) et à la taille des mailles > 3 cm.

La fiche technique de la géogrille HaTelit C40/17 est fournie en «Annexe VIII- Proposition des variantes».

VIII.6. Estimation des coûts pour les différentes variantes

➤ Solution1 : renforcement directe

Tableau VIII.1 Coût 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	4 525 800,00
3	Exécution des chaussées souples et accotements	502 317 380,00
4	SIGNALISATION ET DIVERS	15 190 000,00
Total général en HT		567 507 380,00
TVA 19 %		107 826 402,00
Total général TTC		675 333 782,00

Soit en lettres **Six cent soixante quinze millions trois cent trente trois mille sept cent quatre vingt dinars.**

Solution 2 : Scarification de la couche de roulement en BB

Le volume total à décaper est présenté comme suit :

Tableau VIII.2 Volume totale à décaper

Aire	Epaisseur à fraiser (cm)	Volume à décaper (m³)
Piste principale PP 08/26	0.08	10800
Raquettes de manœuvre	0.08	212
Bretelle	0.08	1 126,04
Parking	0.08	1600
Volume Totale (m³)		13738.04

➤ Variante classique

Tableau VIII.3 Coût de la variante classique

N° de section	Désignation	Montant DA
1	Installation du chantier et replis du matériel	50 000 000,00
2	TRAVAUX PREPARATOIRESET TERRASSEMENTS	12 640 300,00
3	Exécution des chaussées souples et accotements	496 250 400,00
4	SIGNALISATION ET DIVERS	15 190 000,00
Total général en HT		574 080 700,00
TVA 19 %		109 075 333,00
Total général TTC		683 156 033,00

Soit en lettres **Six cent quatre vingt trois millions cent cinquante six mille trente trois dinars**

➤ Variante synthétique

Tableau VIII.4 Coût de la variante synthétique

N° de section	Désignation	Montant DA
1	Installation du chantier et replis du matériel	50 000 000,00
2	TRAVAUX PREPARATOIRESET TERRASSEMENTS	12 640 300,00
3	Exécution des chaussées souples et accotements	550 250 400,00
4	SIGNALISATION ET DIVERS	15 190 000,00
Total général en HT		665 440 400,00
TVA 19 %		126 433 676,00
Total général TTC		781 874 076,00

Soit en lettres **SEPT CENT QUATRE VINGT ET UN MILLIONS HUIT CENT SOIXANTE QUATORZE MILLE SOIXANTE SEIZE DINARS.**

VIII.7. Analyse multicritère

Tableau VIII.5 Analyse multicritère

Variante	Durée de vie	Coûts	Avantages	Inconvénients
Renforcement directe	10 ans	675 333 782,00	<ul style="list-style-type: none"> - Pose rapide - Pas de terrassement - Facilité d'exécution - La couche de reprofilage n'est pas nécessaire. - 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
Variante classique	10 ans	683 156 033,00	<ul style="list-style-type: none"> -Absence de colmatage des fissures -Pose rapide -pas besoin d'une couche de reprofilage -Flexible -Absence de joints de construction -Insonorisant -Pose rapide -Entretien et renforcement très facile. 	<p>Travaux de terrassement</p> <ul style="list-style-type: none"> - Création des imperfections - Entretien onéreux - Mauvaise résistance au carburant. - Fondations très importantes - Mauvaise visibilité. - Présence de joints de liaison.
Variante synthétique	15 ans	781 874 076,00	<ul style="list-style-type: none"> -Flexible. -Absence de joints de construction. -Insonorisant. - S'oppose à la descente 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. - Pose rapide. 	<ul style="list-style-type: none"> -Coût important. - Entretien onéreux. - Mauvaise résistance au carburant et aux réacteurs de certains avions

VIII.8. 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 utilisation de la géogrid**, notre choix est basé sur les hypothèses suivantes :

- Les dégradations présentes sur le corps de chaussée de l'aérodrome sont engendrées de haut vers le bas, ce qui justifie l'utilisation de la géogrid qui s'oppose à la propagation des fissures.
- On augmente la durée de vie (15 ans) de la chaussée renforcée.
- L'élimination de la totalité des fissures par scarification de la couche de roulement sans avoir recours à un colmatage.

VIII.9. Conclusion

Le Choix d'une variante pour le renforcement doit prendre en considération le côté technique (performance, durée de vie, qualité) et le coût de réalisation.

L'analyse multicritère nous a permis de choisir la variante synthétique pour renforcer l'aérodrome de Hassi R'mel, cette solution nous semble la plus optimale.

CHAPITRE IX

Etude hydraulique et assainissement

IX.1. Introduction

L'assainissement joue un rôle primordial dans la conception d'une infrastructure, cette technique a pour but d'évacuer par voie hydraulique les eaux le plus rapidement possible au prix le plus optimal selon le type de l'infrastructure.

Dans notre cas l'évacuation des eaux constitue une étape fondamentale lors de l'aménagement des aéroports, un réseau de drainage bien conçu est indispensable, il assure la protection de toute menace de l'eau.

Pour un bon dimensionnement de l'ouvrage de l'assainissement, il est très important de connaître la pluviométrie de la région où l'aéroport est implémenté.

L'assainissement des chaussées doit assurer :

- **l'évacuation des eaux tombant et s'écoulant directement sur le revêtement de la chaussée.**
- **l'évacuation des eaux d'infiltration à travers le corps de chaussée.**

Dans l'étude de l'évacuation des eaux, on distingue:

- **L'étude de l'assainissement des eaux superficielles**
- **L'étude de drainage des eaux souterraines.**

IX.2. Assainissement des eaux superficielles

Comme le nom indique les eaux superficielles se posent soit à la surface des chaussées soit autour de l'aéroport.

IX.2.1. Cas des eaux qui tombent directement sur l'aéroport

- On réalise un réseau d'assainissement en fonction de la pluviométrie.
- Des drains profonds ou des drains superficiels.
- Des fausses ou bien des cunettes.

IX.2.2. Cas des eaux qui tombent autour de l'aéroport (sur les bandes)

- On établit un drainage composé de drain ou tranchée drainant parallèle et légèrement oblique par rapport à la courbe de niveau. Ces drains se jettent dans un collecteur principal.

Lors de la conception des réseaux d'assainissement des eaux superficielles au niveau des aéroports, plusieurs contraintes s'opposent et ils sont classés en 3 principales catégories :

➤ **Contraintes d'ordre géométrique**

Ces contraintes sont induites par les surfaces à drainer en respectant certaines normes notamment le profil en long, profil en travers.

➤ **Contraintes d'ordre aéronautique**

Le réseau d'assainissement doit prendre en considération la sécurité aérienne pour ne pas aggraver le risque aviaire.

➤ **Contraintes environnementales**

Ces contraintes sont liées à la pollution induite principalement par les avions (les émissions polluantes).

IX.3. Drainage des eaux souterraines

Le drainage des eaux souterraines est souvent un problème délicat à traiter car les eaux souterraines comprennent d'une part, les eaux de nappe phréatique et d'autre part, les eaux d'infiltration.

IX.3.1. Cas d'une nappe phréatique en dessous de la piste

- On réalise une couche anti-contaminante et anticapillaire avec des matériaux drainant afin de se supposer à la remonté des eaux.

IX.3.2. Cas d'une nappe phréatique très proche de la couche supérieure Du terrain naturel

- Dans ce cas les eaux sont placé parallèlement à la piste donc on essaye d'abaisser le niveau de la nappe phréatique en réalisant des drains de la défense, afin que la piste et ses dépendances ne baignent pas dans l'eau. Cela est facile lorsqu'on dispose d'un point d'évacuation des eaux suffisamment bas.

IX.3.3. Cas d'une zone d'évacuation dont le niveau est un peu inférieur à celui du Terrain naturel

- 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.

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

Comme on a déjà mentionné l'importance de l'assainissement et son lien directe à la sécurité, et dans le cas de son absence ou d'une mal conception des conséquences dangereuses son attendues :

- Le phénomène d'aquaplanage causé par L'accumulation excessive d'eau sur les chaussées.
- la chute de portance que l'excessive teneur en eau du sol.
- La dégradation rapide des chaussées.

IX.5. Etude des crues

L'étude de l'assainissement d'un site nécessite une étude des crues, cette dernière consiste à étudier les débits des bassins versants ainsi que leur paramètres (vitesse et intensité).

IX.5.1. Débit maximal journalier :

Le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps, on se base sur le débit maximal journalier (journalier sur une période de retour).

IX.5.2. Pluies de courtes durées

La loi Intensité-Durée-Fréquence (IDF) est une exponentielle décroissante dont les coefficients a et b sont dits paramètres de Montana.

$$i(t, T) = \frac{a(T)}{t^b}$$

I(t, T) : Intensité de pluie exprimée en mm/h

T : période de retour exprimée en années

t : temps exprimé en heures,

a et b : paramètres de Montana

IX.5.3. Temps de concentration :

Le calcul des débits de projet requiert l'évaluation du temps de concentration du bassin versant (T_c) soit le temps que mettent des gouttes d'eau non évaporées et non infiltrées dans le sol de descendre du sommet du bassin versant jusqu'à l'exutoire. Quand ce temps de concentration est atteint, ceci signifie que toutes les régions du bassin versant participent au débit, Le temps de concentration peut être estimé selon plusieurs formules comme celles de, Ventura, Passini, Giandotti, chacune ayant son propre domaine de validité d'application.

➤ **Formule du CCP "California Culvert Practice" (USA)**

Élaboré aux états unis par la division des services routiers de l'état de Californie en 1960 pour les petits bassins versants montagneux, pour le dimensionnement des ouvrages hydrauliques de franchissement. La formule est donnée comme suit :

$$T_c = (0.87 \times (L^3 / \Delta H))^{0.385}$$

L : longueur du thalweg principal en Km.

ΔH : Dénivelé en m ($H_{max} - H_{min}$)

➤ **Formule de Ventura** (B.V inférieur à 5 Km²).

$$T_c = 0.127(S/I)^{0.5}$$

T_c : Temps de concentration en heurs

S : Surface du bassin versant en Km²

I : Pente moyenne du bassin versant en m/m.

➤ **Formule de Passini** (B.V entre 5 Km² et 25 Km²).

$$T_c = 0.11 (S \cdot L)^{1/3} / I^{0.5}$$

S : Surface du bassin versant en Km²

I : Pente moyenne du bassin versant en m/m

L : Longueur du Talweg principal en Km.

➤ **Formule de Giandotti** (B.V supérieur à 25 Km²).

$$T_c = 4 (S^{0.5} + 1.5 L) / 0.8 (H_{moy} - H_{min})^{0.5}$$

T_c : temps de concentration

S : surface (Km²)

I : pente moyenne du BV

L : longueur du bassin (km)

H_{moy} : altitude moyenne (en m)

H_{min} : altitude minimale (en m).

IX.5.4. La vitesse de ruissellement :

Elle est déterminée par la formule suivant :

$$V_r = L/T_c$$

Avec:

V_r: Vitesse de ruissellement en Km/h

L : Longueur du talweg principal en Km

T_c : Temps de concentration en heure.

IX.5.5. Calcul des crues et estimation des débits max :

L'intérêt de la détermination du débit max, d'un cours d'eau est évident en raison des effets destructeurs bien connus des inondations, Lorsqu'on projette la construction des ouvrages hydrauliques, on doit déterminer le maximum probable de la crue au quelle l'ouvrage devra faire face, On doit tenir compte de sa durée de vie et calculer la crue max, qui pourrait se produire pendant cette période ;

L'estimation des débits de crue correspondant des bassins versants dépend de :

La topographie, la climatologie, la morphologie des bassins versant, la géologie.

Pour trouver ces débits on a plusieurs méthodes de calcul :

IX.5.6. La méthode rationnelle :

C'est la méthode de transformation pluie-débit la plus connue et la plus utilisée, Elle suppose que la pluie est uniformément distribuée sur l'ensemble du bassin versant et que la durée de la pluie à une intensité donnée est égale ou supérieure au temps de concentration du bassin versant, Ces hypothèses font que la méthode rationnelle n'est applicable qu'à des petits bassins versants ne dépassant pas les 10 km².

Le calcul du débit par la méthode rationnelle se fait par la formule suivante :

$$Q_{\max} = \frac{Cr \cdot I \cdot S}{3.6}$$

Q_{max}: débit de crue de période de retour voulue (en m³/s)

i : intensité de pluie (en mm /h) pour le temps de concentration du bassin versant.

Cr : coefficient de ruissellement, **S** : surface (Km²).

IX.5.7. Coefficient de ruissellement :

Le ruissellement superficiel correspond à l'eau provenant de la pluie, qui circule par la superficie et qui se concentre dans les lits, Cela représente par conséquent, le reste de pluie qui reste dans la superficie après avoir décompté les phénomènes d'évaporation et d'évapotranspiration, de stockage et d'infiltration dans les couches inférieures.

$$Cr = \frac{\text{hauteur d'eau ruisselé en (mm)}}{\text{hauteur d'eau précipitée en (mm)}} \times 100$$

Le coefficient de ruissellement **Cr** signifie le pourcentage des eaux écoulées sur la terre saturée de pluies par rapport à la quantité total des eaux courantes. Il dépend de la nature du sol et de la pente.

IX.6. Étude Hydraulique :

IX.6.1. Assainissement Transversal :

Les ouvrages de drainage transversaux ont pour rôle d'assurer la continuité des cours d'eau naturels et de protéger la voie. Les ouvrages transversaux sont généralement de trois types :

➤ Les buses

Sont des éléments circulaires préfabriqués en béton armé de dimensions standardisés désignés par le diamètre intérieur de la buse.

➤ Les dalots

Les dalots sont des ouvrages d'art réalisés sur site généralement sont constitués d'un radier, de deux murs et d'une dalle de forme généralement rectangulaire pour évacuer des débits plus importants que ceux des buses. Ils sont placés sous les remblais.

Les ouvrages hydrauliques doivent faire transiter des débits donnés dans des conditions satisfaisantes : curage, vitesse maximale pour limiter l'érosion.

Le débit de saturation ou le débit capable est calculé par le biais de la formule de MANNING-STRICKLER sur un écoulement en régime uniforme.

$$Q_s = K.S.Rh^{\frac{2}{3}}.I^{\frac{1}{2}}$$

I : Pente de pose de l'ouvrage.

S : Section mouillée (m²)

K : Coefficient de MANNING-STRICKLER

Rh : Rayon hydraulique moyen avec : $Rh = \frac{\text{section mouillée}}{\text{périmètre mouillé}}$

Tableau XI.1. Coefficient de MANNING-STRICKLER

Nature d'ouvrage	En terre	Buse métallique	Maçonnerie	Béton (dalot)	Béton (buse préfabriquée)
K	30	40	50	70	80

IX.6.1.1. Hauteur de remplissage

➤ Les buses :

- Périmètre mouillé : $P_m = d \times \pi$
- Surface mouillée : $S_m = \frac{D^2}{4} \times \pi$
- Rayon hydraulique: $Rh = \frac{D}{4}$
- La vitesse d'écoulement : $V = K . Rh^{2/3} . I^{0.5}$
- Le débit de saturation : $QS = V \times S_m$

Avec

- $H_r = 0.75 \varnothing$ si $\varnothing \leq 1$ m
- $H_r = 0.50 \varnothing$ si $\varnothing > 1$ m

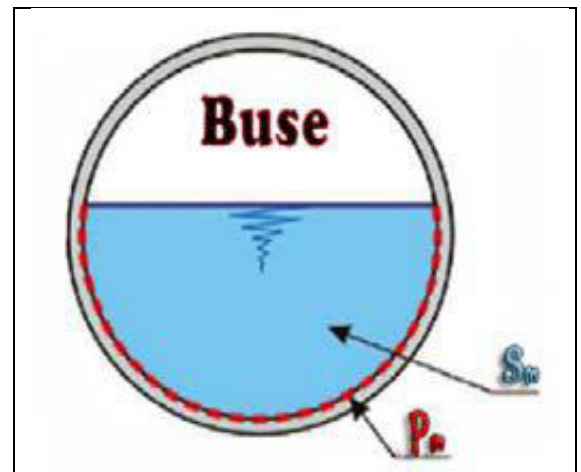


Figure IX.1. Hauteur de remplissage d'une Buse

Le diamètre des buses est obtenu par la formule suivante :
$$d = \left(\frac{Q_a \times 4^{\frac{5}{3}}}{K \cdot \pi \cdot \sqrt{1}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

IX.6.1.2. Dimensions des ouvrages

Les dimensions retenues sont celles qui répondent à la condition suivante : $Q_a < Q_s$

Q_a : Débit d'apport (m^3/s).

Q_s : Débit de saturation de l'ouvrage (m^3/s).

IX.6.2. Assainissement longitudinale :

Le réseau d'assainissement longitudinal est composé principalement par des fossés implantés le long de la piste.

Les fossés sont des ouvrages longitudinaux ont pour objectif d'évacuer le ruissellement venant de la plateforme et les talus ainsi que les terrains avoisinants, ceci est fonction des pentes du fossé et la nature des matériaux du sol support.

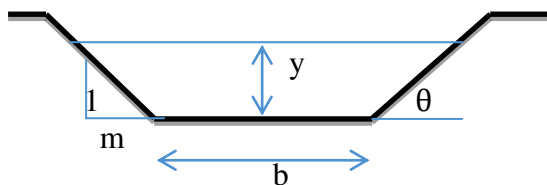
IX.6.2.1. Dimensionnement d'ouvrage d'assainissement longitudinal :

Pour avoir la valeur des dimensions nécessaires de notre ouvrage, nous allons procéder de la même manière que celle pour les ouvrages d'assainissement transversal, par itérations de la valeur de h de la formule de Manning-Strickler.

Les ouvrages les plus utilisés sont les fossés trapézoïdaux où on doit faire les relations particulières entre ses dimensions pour être « hydrauliquement favorable ».

IX.6.2.2. Méthode de calcul

On doit calculer les débits qui viennent des déblais et des remblais (Q_a)



b : largeur du fond du canal
 y : tirant d'eau
 θ : angle des talus
 m : coefficient de pente

Figure IX.2. Dimensionnement d'un fossé

➤ **Section mouillée** : $S = by + m^2 = (b + my)y$

➤ **Périmètre mouillé** : $P = b + 2y\sqrt{1 + m^2}$

➤ **Rayon hydraulique** : $R_h = \frac{S}{p} = \frac{(b + my)y}{b + 2y\sqrt{1 + m^2}}$

On fait une itération de calcul de débit de saturation de l'ouvrage (Q_s), en appliquant la formule de Manning Strickler :

$$Q_s = k_{st} \times (by + mh^2) \times \left(\frac{by + mh^2}{b + 2y\sqrt{m^2 + 1}} \right) \times i^{1/2}$$

La valeur du coefficient de rugosité k_{st} étant fixée à 70 pour le béton, la pente du fossé J à 1% et $m = \cot\alpha$, avec $\alpha = 1/1 \rightarrow \tan\alpha = 1$ qui correspond à un angle de 45° donc $m = \cot\alpha = 1$

L'itération sera terminer lorsque $Q_s > Q_a$.

IX.7. Système de drainage de l'aérodrome de Hassi R'mel

La plateforme de Hassi R'mel se situe dans une zone désertique de faible pluviométrie annuelle de 167mm, et l'aérodrome a des ouvrages d'assainissements tel que deux (02) traversée Ø1000 et un canal en terre.

Les deux traversées Ø1000 sont prolongées de part de la piste de 150m de la bande.

Le canal en terre est au long de la piste, il est terrassé et transformé en forme de V à 75m de l'axe de la piste.

Pour la nouvelle voie de circulation on prévoit le même système d'assainissement.

IX.8. Conclusion :

Hassi R'mel est une région d'un climat désertique avec une faible pluviométrie, et avec le réseau d'assainissement existant, l'aérodrome ne nécessite pas l'élaboration d'un réseau neuve, car ce réseau assure parfaitement l'évacuation des eaux pluviales.

Faut noter qu'un entretien régulier du réseau existant est une tâche nécessaire pour assurer un bon drainage.

CHAPITRE X

AIDES VISUELLES À LA NAVIGATION

X.1. Introduction

Chaque aéroport comporte un ensemble d'indicateurs, des marques et des feux normalisés destinés à transmettre certaines indications aux navigateurs aériens afin d'assurer la sécurité des appareils et des passagers lors des opérations de décollage et d'atterrissage.

En général, cet ensemble est souvent groupé sous le nom de balisage et signalisation.

On distingue deux types :

- Balisage et signalisation de jour.
- Balisage et signalisation de nuit.

X.2. Balisage et signalisation de jour

X.2.1. Identification de l'aéroport

Afin de faciliter l'identification de l'aéroport, son nom est inscrit en lettres de 3m de hauteur en peinture blanche et doit être visible dans toutes les directions. L'endroit de cette inscription est choisi par les autorités exploitantes de l'aéroport.

X.2.2. Indicateur de la direction des vents

L'indicateur de vent se présente sous forme d'un tronc de cône en tissu monté sur une girouette, son rôle est de donner une information générale visuelle sur la direction et la vitesse du vent, à la surface de l'aéroport.

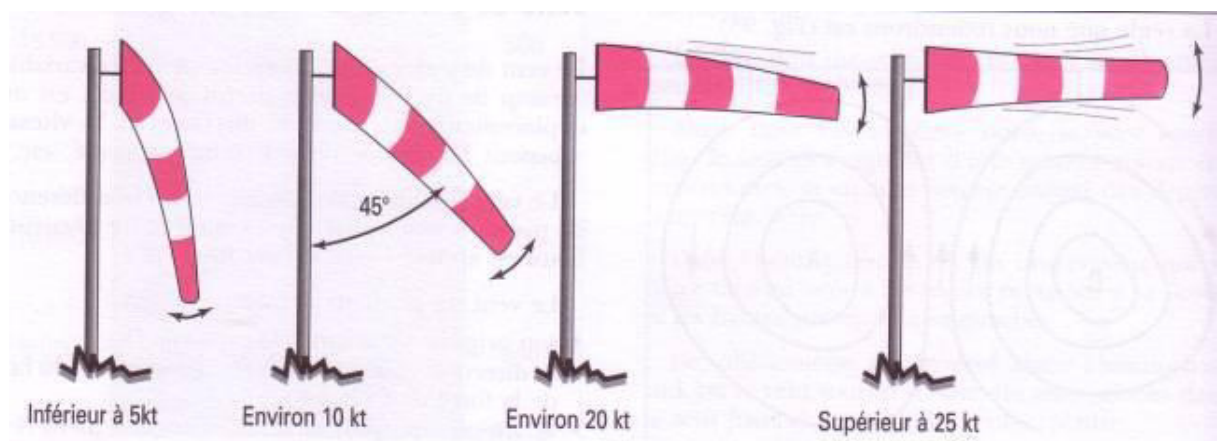


Figure X.1 Manche à vent

X.2.3. Indicateur de direction d'atterrissage

L'indicateur d'atterrissage se présente sous forme d'un T tournant autour d'un axe. La barre verticale indique le sens d'atterrissage que le pilote doit respecter.

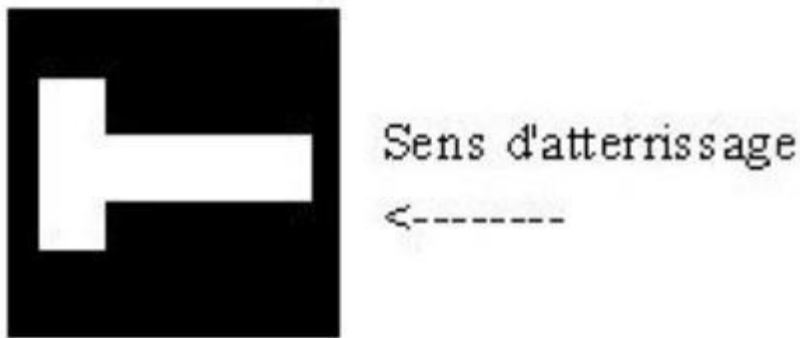


Figure X.2 indicateur de direction d'atterrissage

X.2.4. Les marques

Les principaux marquages sur l'aérodrome sont :

- Marques d'identification de piste.
- Marques d'axe de piste.
- Marques de seuil.
- Marques de point cible.
- Marques de zone de poser des roues.
- Marquages des voies de circulation.
- Marque d'attente de circulation.
- Marques latérales de piste.
- Marques de postes de stationnement.

➤ **Marques d'identification de piste :**

Chaque piste est identifiée par un nombre à deux chiffres sur chaque seuil, caractérisant l'angle que fait l'axe de la piste avec le Nord magnétique.

La piste de l'aérodrome de Hassi R'mel est orientée selon la direction 08/26.

➤ **Marques de seuil :**

Le marquage de seuil est constitué par une série de lignes longitudinales, symétriques et parallèles à l'axe de la piste de 30 m de longueur.

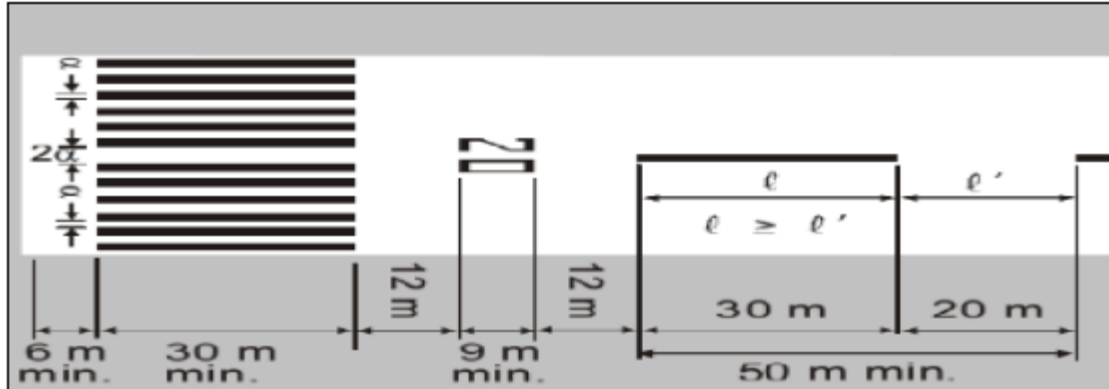


Figure X.3 marquage de seuil

➤ **Marquage d'axe de piste :**

Le marquage de l'axe de piste est représenté par une ligne de trait uniforme centrée sur l'axe de la piste, les dimensions de ces traits sont :

Tableau X.1 dimensions des traits de l'axe de piste

Longueur	30 m
Largeur	0.90 m
Espacement	30 m

➤ **Marques de point cible :**

Les marques de point cible étaient connues auparavant sous le nom de marques de distance constante.

Ces marques sont constituées par deux bandes bien visibles. Les dimensions des bandes et l'espacement entre leurs bords intérieurs sont comme suit :

Tableau X.2 dimensions des bandes

Longueur	30 m
Largeur	4 m
Espacement	18 m

➤ **Marques latérales de piste**

Lorsque le contraste entre les bords de la piste et les accotements n'est pas suffisant, on a recours aux marques latérales qui sont de couleur blanche et de la longueur de la piste. Elles seront disposées entre les deux seuils de la piste. Ces marques doivent être 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.

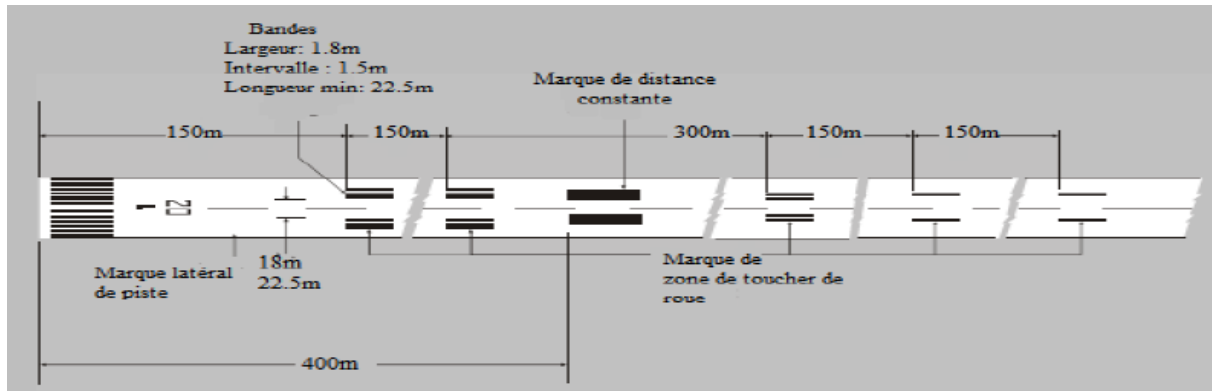


Figure X.4 Marques de point cible, de zone de toucher des roues et latérale de la piste.

➤ **Marques de zone de poser des roues :**

Les marques de zone de poser des roues se présentent sous forme de paires de marques rectangulaires symétriquement disposées par rapport à l'axe de la piste. Ces marques commencent à 150m à partir du seuil de piste.

Leur nombre varie en fonction de la distance utilisable à l'atterrissage ou de la distance entre les seuils, la distance est présentée comme suit :

Tableau X.3 Distance utilisable à l'atterrissage

Distance utilisable à l'atterrissage ou distance entre les seuils	Paires de marques
Inférieure à 900 m	1
De 900 m à 1 200 m	2
De 1 200 m à 1 500 m	3
De 1 500 m à 2 400 m	4
Supérieure à 2 400 m	6

➤ **Marquages des voies de circulation :**

Ce marquage est constitué par une ligne discontinue ayant une largeur de 15 cm sur l'axe de la voie de circulation qui assure le guidage à partir de l'axe de la piste jusqu'au parking.

➤ **Marque d'attente de circulation :**

Les marques d'attente de circulation sont obligatoirement disposées à l'intersection d'une voie de circulation avec une piste à une distance de 75m de l'axe de la piste.

➤ **Marques de postes de stationnement :**

L'objectif de ces marques de postes de stationnement, disposées sur une aire de trafic avec revêtement, est de mettre à la disposition du pilote un système de marquage au sol clair et précis lui permettant d'effectuer les manœuvres sans confusion et sans l'aide du personnel au sol.

X.3. Système de signalisation de nuit

Les considérations de sécurité dans un aéroport ouvert aux vols de nuit exigent la réalisation d'installations électriques spéciales (système lumineux) et des personnels supplémentaires afin de faciliter l'approche finale et le contact, ainsi que le roulement au sol à l'atterrissage et au décollage.

Les caractéristiques de ce système lumineux sont strictement réglementées par l'OACI.

X.3.1. Les feux :

X.3.1.1. Phare d'identification

Tout aéroport destiné à être utilisé de nuit et qui ne peut être identifié facilement en vol par d'autres moyens sera doté d'un phare d'identification placé sur l'aéroport même ou dans son voisinage.

X.3.1.2. Feux de piste

On distingue six types de feux de piste qui sont :

➤ **Feux ou dispositifs d'approche (facultatifs) :**

Ces dispositifs sont constitués d'une ligne axiale de feux directionnels tous les 60m sur 420m et une barre de feux à 300m de seuil de la piste.

➤ **Feux de seuil de piste :**

Les feux de seuil de piste seront disposés sur une piste dotée de feux de bords, à l'exception d'une piste à vue ou d'une piste avec approche classique, lorsque le seuil est décalé et que des barres de flanc sont utilisées.

➤ **Feux d'extrémité de piste :**

Dans le cas où le seuil de piste correspond à son extrémité, les feux de seuil peuvent être utilisés comme feux d'extrémités de piste.

➤ **Feux de bords de piste :**

Ces feux indiquent les bords latéraux de chaque piste, disposés sur toute sa longueur en deux rangés parallèles. Leur mise en place est nécessaire pour le guidage lors de l'atterrissage ou décollage.

➤ **Feux d'axe de piste :**

Ce sont des feux fixes de couleur variable disposés le long de l'axe de la piste, depuis le seuil jusqu'aux extrémités à un intervalle de 15m.

➤ **Feux de zones de touchée des roues :**

Ce sont des feux composés d'une barrette comportant au moins trois feux unidirectionnels de couleur blanche variable. Ayant pour rôle l'indication des zones de touchée des roues et qui s'étendent sur une longueur de 900m, l'espacement longitudinal entre deux paires de barrettes est de 30m ou de 60m.

X.3.1.3. Feux des voies de circulation :

➤ **Feux axiaux des voies de circulation :**

Ce sont des feux fixes de couleur verte visibles seulement par un avion empruntant les voies de circulation sur laquelle sont installés les feux de manière à assurer un guidage continu depuis l'axe de la piste jusqu'à l'aire de stationnement.

➤ **Feux de bords des voies de circulation :**

Ce sont des feux fixes de couleur bleue installés dans les parties rectilignes d'une voie de circulation à un intervalle de 60m de manière à assurer la visibilité des limites d'un virage.

➤ **Les barres d'arrêt :**

Les barres d'arrêt doivent être composées de feux unidirectionnels de couleur rouge, dirigés dans le sens où l'aéronef s'approche de l'intersection ou du point d'attente de circulation.

Ces feux sont placés en travers de la voie de circulation au point d'arrêt (ou d'attente d'autorisation d'accès à la piste).

X.3.1.4. Feux des aires de stationnement

Ce sont des feux disposés de manière à rendre les postes de stationnement visibles, ils orientés au moins en deux directions de façon à réduire le plus possible les ombres.

X.4. Maintenance du balisage lumineux des aérodromes

Afin de maintenir en conditions opérationnelles les infrastructures des aires de mouvement aéroportuaires, la maintenance et l'entretien des installations de balisage est une opération nécessaire. Cette opération recouvre l'ensemble des mesures qui permettent de maintenir ou de rétablir l'état fonctionnel des équipements, d'en évaluer la conformité aux référentiels réglementaires applicables et globalement de réduire les risques de défaillances d'exploitation.

Ses principaux éléments peuvent se décliner en :

- **Inspections.**
- **Entretien courant et révisions.**
- **Réparations.**

Dans tous les cas, la maintenance devra établir :

- un schéma global qui la situe dans la structure générale de l'aéroport, qui définit les rôles et responsabilités des intervenants et décrit les moyens humains et matériels.
- des procédures et consignes pour définir les interventions sur site, les modes opératoires, les retours d'expérience et le report des événements.
- Une documentation régulièrement mise à jour et structurée : plans et synoptiques d'ensemble, plans et schémas des sous-systèmes, documentations techniques et notices des matériels installés, fiches de suivi et d'évolution des matériels.
- Des plans de formation et d'évaluation des compétences et qualifications requises pour l'accomplissement des tâches à exécuter.

X.5. Conclusion

La réalisation d'une piste s'accompagne de la mise en place sur celle-ci et à ses abords des dispositifs destinés à faciliter le trafic aérien et à assurer la sécurité des aéronefs et des passagers en améliorant la visibilité. Ces dispositifs doivent satisfaire les recommandations de l'OACI qui figurent à l'annexe 14.

CHAPITRE XI

Métre

XI.1. Introduction

Le métré, qui est le calcul estimatif des valeurs nécessaires pour l'estimation du coût du projet, Ce calcul est établi en tenant compte des unités de référence données au bordereau des prix.

Pour le cas du projet de Hassi R'mel, le métré consistera à évaluer de façon approchée, les aires de mouvement à construire ou à renforcer ainsi les quantités des matériaux qui seront utilisés.

XI.2. Calcul des surfaces :

XI.2.1. Les chaussées

Tableau XI.1 Calcul des surfaces des chaussées.

Chaussée	Surface (m ²)
La Piste Principale	135 000 m ²
Voie de circulation	38 250 m ²
Parking	20 000 m ²
Bretelle	13 750 m ²
Prolongement d'arrêt	720 m ²
Raquettes de manœuvre	2651,2 m ²
RESA	18 000 m ²

XI.2.2. Les bandes

Tableau XI.2 Calcul des surfaces des bandes

Les bandes	Surface (m ²)
La piste Principale	280 000 m ²
La voie de circulation	6120 m ²
Bande Seuil 26	9 000,00 m ²
Bande Seuil 08	9 000,00 m ²
Bretelle	3 684,00 m ²
Parking	957,00 m ²

XI.2.3. Les accotements

Tableau XI.3 Calcul des surfaces des accotements.

Accotement	Surface (m ²)
La piste Principale	42 712,13 m ²
La voie de circulation	15 300,00 m ²
Raquette de manœuvre	2201,08 m ²
Bretelle	10 200,00m ²
Parking	2 021,80m ²

XI.3. Calcul des quantités

XI.3.1. Travaux préparatoires des terrassements :

Tableau XI.4 Calcul des volumes remblais/déblais

DESIGNATIONS	VOLUME REMBLAIS (M ³)	VOLUME DEBLAIS (M ³)
Piste Principale	5 651	135 322
Voie de circulation	10001	21 796
Parking	464	2 250
Bretelle	4 490	3 222
TOTAL	20606	162 590

XI.3.2. Fraisage du revêtement existant :

Tableau XI.5 Volume à fraiser

DESIGNATIONS	Volume (M ³)
Piste Principale	10 800
Raquettes de Manœuvres	212
Bretelle	1 126,04
Parking	1600
TOTAL	13 738.04

XI.3.3. Exécution du corps de chaussée

XI.3.3.1. GNT

Tableau XI.6 Volume de GNT nécessaire

Aire	Epaisseur GNT(Cm)	Volume GNT (M ³)
SWY	25	180
La voie de circulation	25	9563
TOTAL		9743

XI.3.3.2. Grave bitume 0/20

Tableau XI.7 Volume GB 0/20 nécessaire

Aire	Epaisseur GB 0/20 (cm)	Volume GB 0/20
La piste principale	10	13 500
Raquette de manœuvre	10	265,12
Bretelle	10	13 75
SWY	10	72
Parking	10	2000
La voie de circulation	10	3825
TOTAL		21 037,12

La masse volumique du grave bitume est : $\rho = 2.3$ tonnes/ m³
 Le poids total nécessaire est de **48 385,37 tonnes**.

XI.3.3.3 Béton bitumineux

Tableau XI.8 Volume de BB 0/14 nécessaire

Aire	Epaisseur BB 0/14 (cm)	Volume BB 0/14 (m ³)
La Piste principale	8	10 800
Raquette de manœuvre	8	213
Bretelle	8	1100
SWY	8	57,6
Parking	10	2000
La voie de circulation	8	3060
Accotements	8	5150
TOTAL		21 390,6

La masse volumique du béton bitumineux est : $\rho = 2.4$ tonnes/m³
 Le poids total nécessaire est **51 337,4 tonnes**

XI.3.3.4 TUF

Tableau XI.9 Volume de tuf nécessaire

Aire	Epaisseur tuf sélectionné (cm)	Volume tuf sélectionné (m ³)
Bande de la piste principale	20	7153
Bande raquettes de manœuvre	20	123
Bande de Bretelle	20	737
RESA	20	3600
Bande du parking	20	192
Bande de la voie de circulation	20	1224
TOTAL		13 029

XI.3.3.5 Nappe de géogrille nécessaire :

La géogrille sera utilisé pour :

- La piste principale
- La voie de circulation
- La bretelle
- Le parking
- Les deux raquettes de manœuvre

Tableau XI.10 surface de géogrille

Chaussée	Surface (m ²)
La piste Principale	35 000
La voie de circulation	38 250
La bretelle	13 750
Le parking	20 000
Les raquettes de manœuvres	1325x2
TOTAL	209 650

Donc la quantité nécessaire de la géogrille est de : $209\ 650 \times 1.10 = 230615$ m²

D'autres matériaux seront nécessaires pour les travaux de réalisation, on cite :

➤ **Une Couche d'accrochage en émulsion cationique :**

La couche d'accrochage sera dosée à 1.6kg/m².

Le poids de l'émulsion cationique nécessaire sera donc :

$$209\,650 \times 1.6 \times 10^{-3} = \mathbf{335,44 \text{ tonnes}}$$

➤ **Les marquages des chaussées :**

Pour la peinture blanche : 20 000 m²

Pour la peinture jaune : 750 m²

Pour la peinture rouge : 3×25=75 m²

➤ **Le Produit anti-Kérosène pour le parking :**

Le parking contient 03 postes donc la couche nécessaire est de :

$$1640 \times 3 = 4920 \text{ m}^2$$

Le calcul des cubatures est fournis en « **Annexe XI-Métre** ».

XI.4. Devis quantitatif et estimatif

Tableau XI.11 Le 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	50 000 000,00	50 000 000,00
Démontage et repli des installations de chantier	Forfait	1	30 000 000,00	30 000 000,00
Sous total 01				80 000 000,00
Section 2 : Travaux préparatoires et terrassements				
Déblais	M ³	162 590	400,00	65 036 000,00
Remblais	M ³	20 606	800,00	16 484 800,00
Sous total 02				81 500 800,00
Section 3 : Exécution des chaussées souples et accotements				
Couche de grave non traitée	M ³	9743	1800,00	17 537 400,00
Couche de base en GB 0/20	Tonne	48 385,37	6000	290 312 220,00
Fourniture et mise en place de la géogrid	M ²	230 615	500	115 307 500,00
Couche de roulement en BB 0/14	Tonne	51 337,4	7500	385 030 500,00
Couche de tuf sélectionné	M ³	13 029	1 000	10 029 000,00
Couche d'accrochage en émulsion cationique	Tonne	335,44	80 000	26 835 200,00
Sous total 03				845 051 820,00
Section 4 : Balisage				
Peinture blanche	m ²	20 000	700	14 000 000,00
Peinture jaune	m ²	750	700	525 000,00
Peinture rouge	m ²	75	700	52 500,00
Sous total 04				14 577 500,00
Section 5 : Traitement des surfaces				
Couche de protection anti-Kérosène	m ²	4920	800	3 936 000,00
Sous total 05				3 936 000,00
TOTAL GENERAL EN HORS TAXES				1 011 946 120,00
TVA 19%				192 269 762,8
TOTAL GENERAL T.T.C				1 204 215 883,00

Arrêter le présent détail quantitatif estimatif en toutes taxes comprises à la sommes de :
Un milliard deux cent quatre millions deux cent quinze mille huit cent quatre vingt dinars

CONCLUSION Générale

Pendant cette dernière décennie le trafic aérien de la région de Hassi R'mel a pris de l'ampleur avec l'importance de cette région pour l'économie de l'Algérie, et avec la dégradation de son aéroport il a fallu établir une étude détaillée qui consiste à renforcer et développer les infrastructures afin de préserver la piste principale et prolonger sa durée de vie, d'où on est arrivé à conclure qu'il est nécessaire d'introduire les géotextiles, et de créer une voie de circulation.

Durant ces travaux de renforcement on a eu l'occasion d'effectuer notre stage de fin d'étude à Hassi R'mel, et avec l'aide des connaissances et expériences des cadres de la SAETI et l'ENNA on a pu apprendre la méthodologie rationnelle à suivre pour l'élaboration d'un projet de travaux publics, et surtout d'acquérir des connaissances dans le domaine de la conception, le renforcement et la réalisation des infrastructures aéroportuaires.

Notre stage a Hassi R'mel, nous a permis de lier la théorie à la pratique, d'apprécier les différentes techniques de conception et de mise en œuvre sous les différentes contraintes y compris la température très élevée et les vents de sables.

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 CTTT.
- STBA, Catalogue des dégradations « Etat de la surface des chaussées aéronautiques ».
- Conception, construction et gestion des aéroports de G. MEUNIER.
- Cours de base aérienne Par Mr. Ferrat
- Laboratoire LTP SUD, Rapport géotechnique « Projet de renforcement de l'aéroport de Hassi R'mel ».
- Notions générale sur les GEOTEXTILES en géotechnique routières, par :
 - LCPC « Laboratoire Central des Ponts et Chaussées »
 - SETRA « Service d'Etude Technique des Routes et Autoroutes »

LES ANNEXES

Les statistiques par aéronef de l'année 2017 et 2018

ETABLISSEMENT NATIONAL DE LA NAVIGATION AERIENNE



AERODROME DE HASSI R'MEL TILRHENT

STATISTIQUES PAR TYPE D'AERONEF ANNEE 2017

	B738	DH6/L410	B190	C25/C65	B206	PC6/C208	DH8B	DH8D	AT72	
JANVIER	28	0	20	0	128	0	71	42	0	289
FEVRIER	24	2	12	0	91	0	66	40	0	235
MARS	22	4	20	0	78	0	82	38	0	244
AVRIL	28	8	20	4	78	0	73	28	0	239
MAI	22	0	16	4	92	0	78	44	0	256
JUIN	24	0	16	4	50	0	65	42	0	201
JUILLET	26	0	22	10	72	2	79	38	0	249
AOÛT	30	0	8	2	46	0	73	40	0	199
SEPTEMBRE	22	0	12	2	70	0	71	38	0	215
OCTOBRE	26	0	14	0	118	0	66	46	0	270
NOVEMBRE	24	0	12	0	102	0	69	34	4	245
DECEMBRE	20	0	12	0	88	0	67	42	0	229
TOTAL	296	14	184	26	1013	2	860	472	4	

TOTAL MOUVEMENT: = 2871

STATISTIQUES PAR TYPE D'AERONEF ANNEE 2018

	B738	DH6/L410	B190	C25/C65	B206	PC6/C208	DH8B	DH8D	C295	
JANVIER	24	0	18	0	120	0	64	46	0	272
FEVRIER	26	0	18	0	108	0	64	40	0	256
MARS	28	4	8	0	81	0	70	30	0	221
AVRIL	20	0	16	0	74	2	77	30	0	219
MAI	30	0	16	0	78	0	63	34	0	221
JUIN	24	0	12	2	80	0	63	36	0	217
JUILLET	24	0	10	0	68	0	66	50	0	218
AOÛT	28	0	12	4	68	0	65	34	0	211
SEPTEMBRE	26	0	12	0	74	2	61	44	0	219
OCTOBRE	26	2	10	2	66	0	64	46	0	216
NOVEMBRE	28	0	10	0	78	0	65	36	2	219
DECEMBRE	0	0	0	0	7	0	0	0	0	7
TOTAL	284	6	142	8	902	4	722	426	2	

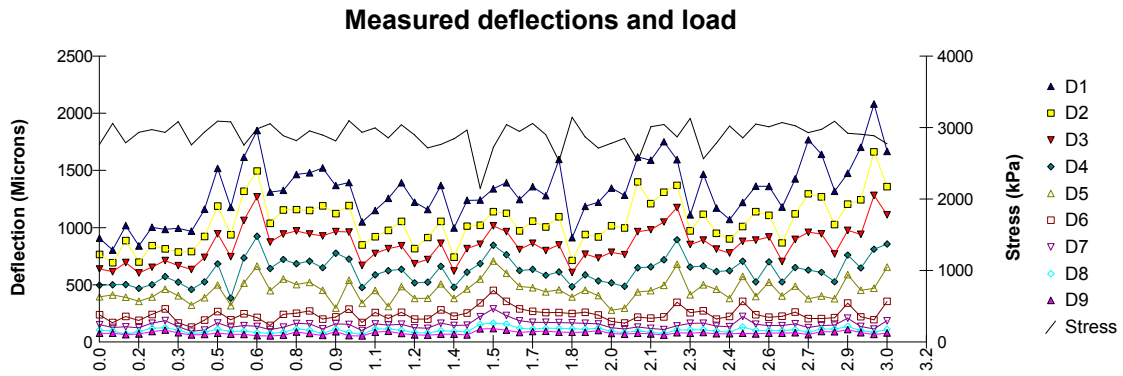
TOTAL MOUVEMENT: = 2496

- Fiche de relevé des dégradations pour 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	Faièncage de fatigue	M ₂	L					1 1	Déformation en W	M ₂	L				
			M								M				
			E								E				
5	Désenrobage Bruhure Pelade	M ₂	L					1 2	Gonflement /Bourrelet	M ₂	L				
			M								M				
			E								E				
6	Fissure de joint	M ₁	L					1 3	Tassement différentiel Marche	m	L				
			M								M				
			E								E				
7	Fissure de retrait	M ₁	L					1 4	Nid de poule	U					
			M												
			E												
8	Faièncage de retrait	M ₂	L					1 5	Contamination/souillure	M ²					
			M												
			E												
9	Réparation ponctuelle dégradée	M ₂	L					1 6	Dépôt de gomme	M ²					
			M												
			E												
10	Fissure parabolique	M ₁	L					1 7	Empreinte/poinçonnement	M ₂	L				
			M								M				
			E								E				
10	Fissure parabolique	M ₁	L					1 8	Enrobé poreux	M ²					
			M												
			E												
10	Fissure parabolique	M ₁	L					1 9	Remontée d'eau	M ²					
			M												
			E												
10	Fissure parabolique	M ₁	L					2 0	Remontée de fine	M ²					
			M												
			E												
10	Fissure parabolique	M ₁	L					2 1	Ressuage	M ²					
			M												
			E												

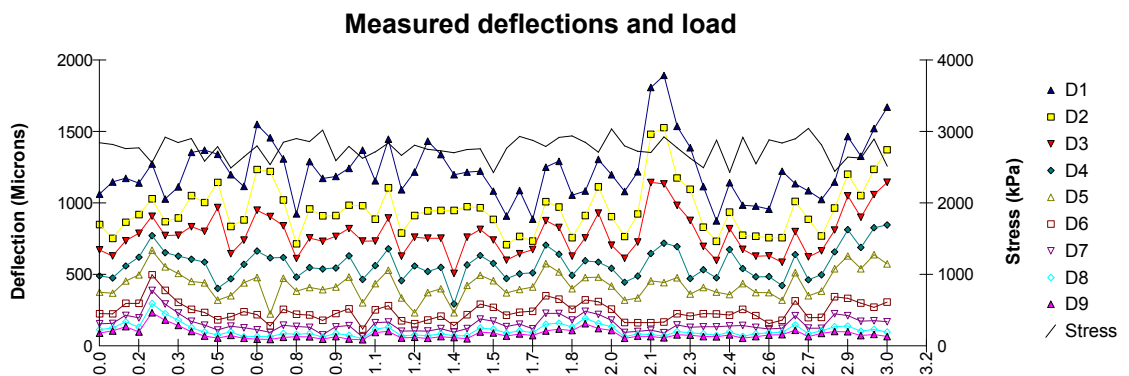
1) Mesure des déflexions

➤ Profil axe : Axe de la Piste d'atterrissage



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflexion moyenne (μm)	Déflexion Max (μm)	Déflexion Min (μm)	Ecart type
0	61	1321	2083	805	261
200	61	1050	1664	695	202
300	61	853	1284	604	155
450	61	625	926	384	115
600	61	453	710	278	95
900	61	242	451	131	58
1200	61	151	291	94	34
1500	61	102	166	66	21
1800	61	78	117	53	15

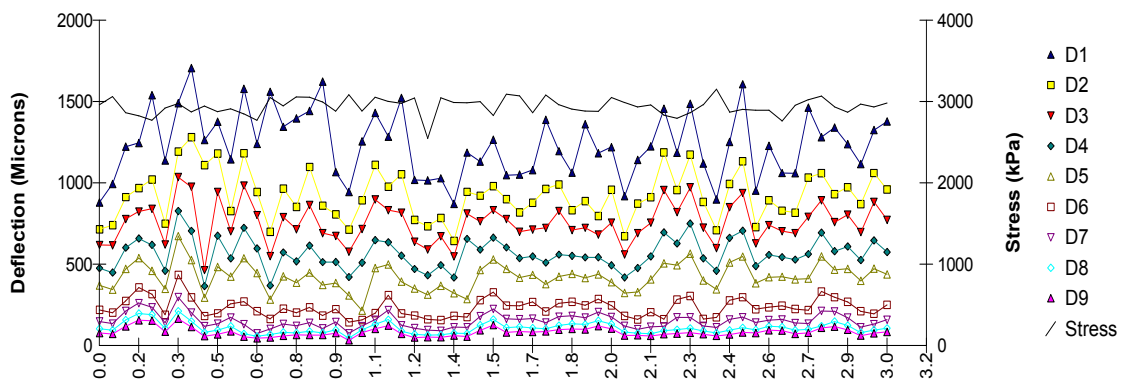
➤ Profil 3,5D : 3.5ml à droite de l'axe central de la piste



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflexion moyenne (µm)	Déflexion Max (µm)	Déflexion Min (µm)	Ecart type
0	61	1227	1893	875	207
200	61	956	1527	708	179
300	61	780	1145	507	144
450	61	572	846	294	107
600	61	429	669	223	94
900	61	241	498	117	68
1200	61	154	389	63	55
1500	61	107	296	51	43
1800	61	82	232	43	34

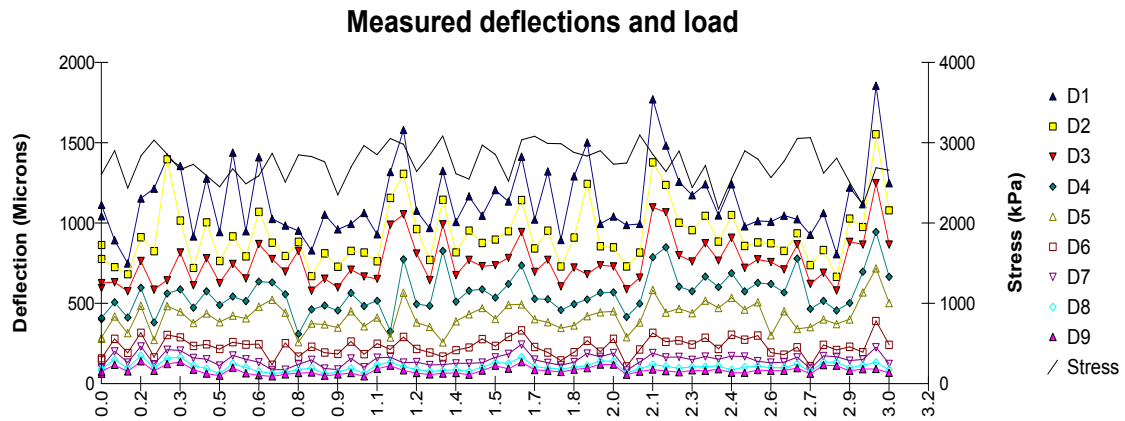
➤ Profil 3,5G : 3.5ml à gauche de l'axe central de la piste

Measured deflections and load



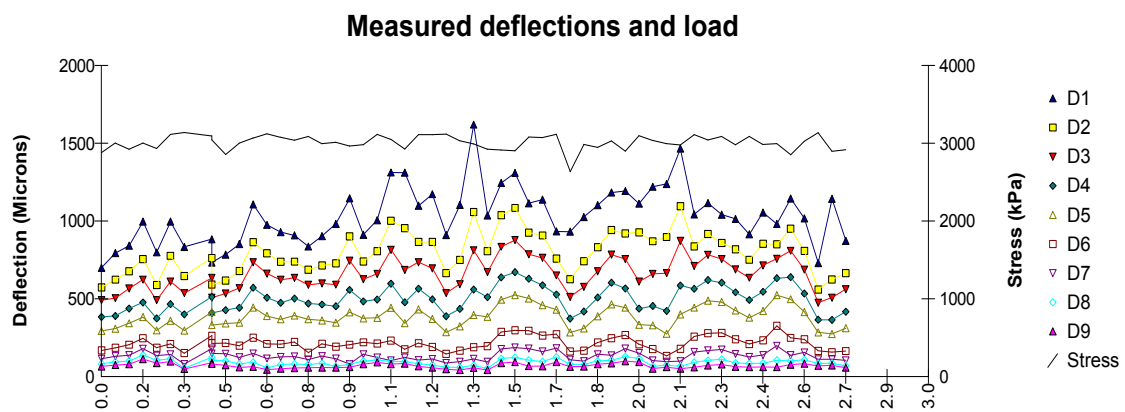
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflexion moyenne (µm)	Déflexion Max (µm)	Déflexion Min (µm)	Ecart type
0	61	1239	1707	871	203
200	61	923	1281	644	148
300	61	755	1036	464	122
450	61	564	828	366	95
600	61	423	673	215	82
900	61	235	435	144	58
1200	61	152	298	75	44
1500	61	107	212	45	34
1800	61	83	165	33	27

➤ Profil 7D : 7ml à droite gauche de l'axe central de la piste



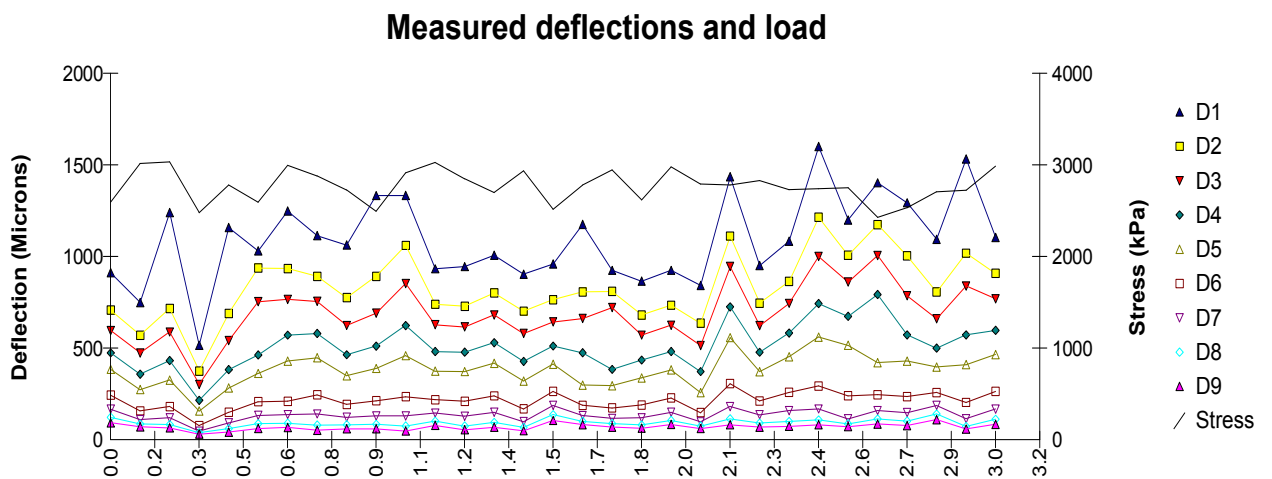
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflection moyenne (µm)	Déflection Max (µm)	Déflection Min (µm)	Ecart type
0	62	1137	1857	749	222
200	62	925	1553	666	186
300	62	757	1250	576	142
450	62	562	945	310	123
600	62	418	719	258	87
900	62	231	391	108	56
1200	62	148	244	83	37
1500	62	105	175	61	27
1800	62	82	140	46	23

➤ Profil 7G : 7ml à gauche de l'axe central de la piste



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflexion moyenne (µm)	Déflexion Max (µm)	Déflexion Min (µm)	Ecart type
0	61	1033	1621	700	184
200	61	801	1096	561	135
300	61	659	878	475	105
450	61	500	672	365	83
600	61	384	525	275	68
900	61	215	327	134	44
1200	61	134	199	81	30
1500	61	92	139	53	20
1800	61	70	113	43	16

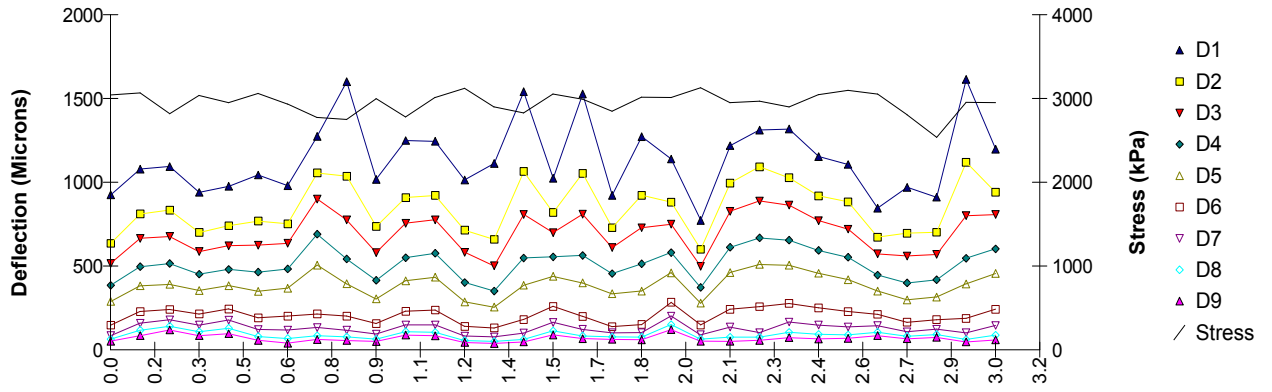
➤ Profil 14D : 14ml à droite de l'axe central de la piste



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflexion moyenne (µm)	Déflexion Max (µm)	Déflexion Min (µm)	Ecart type
0	31	1093	1601	516	237
200	31	833	1215	375	180
300	31	691	1006	302	152
450	31	513	793	215	121
600	31	384	560	157	87
900	31	215	307	78	47
1200	31	135	188	47	30
1500	31	92	141	38	22
1800	31	70	110	31	17

➤ Profil 14G : 14ml à gauche de l'axe central de la piste

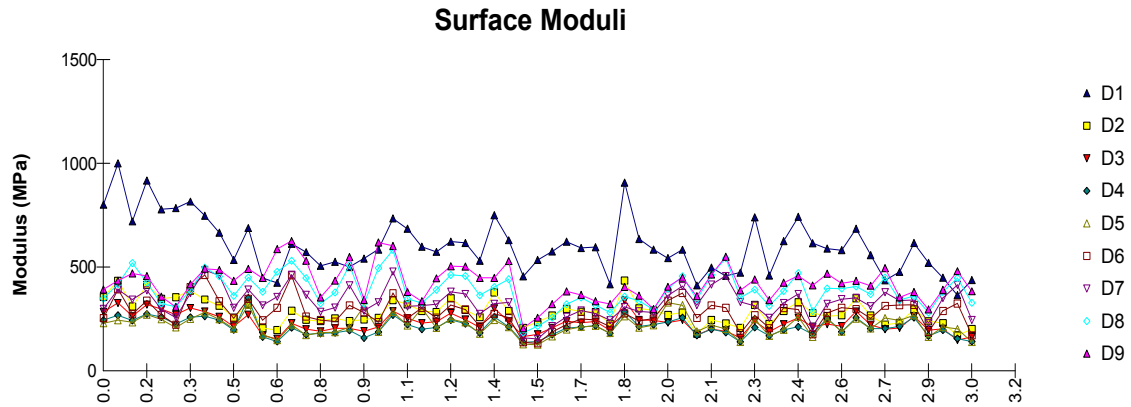
Measured deflections and load



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	Déflexion moyenne (µm)	Déflexion Max (µm)	Déflexion Min (µm)	Ecart type
0	31	1142	1615	773	218
200	31	852	1120	600	153
300	31	694	901	499	118
450	31	513	691	352	90
600	31	385	510	255	70
900	31	206	285	132	44
1200	31	129	202	78	32
1500	31	89	151	50	25
1800	31	68	121	39	21

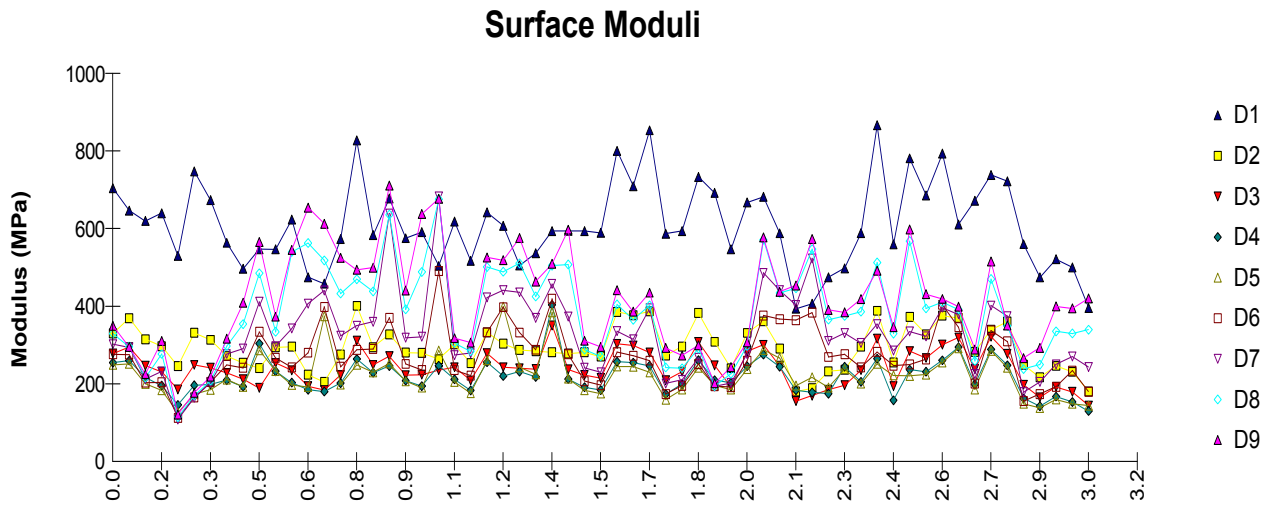
2) Modules D'élasticité

➤ Profil axe : Axe de la Piste d'atterrissage



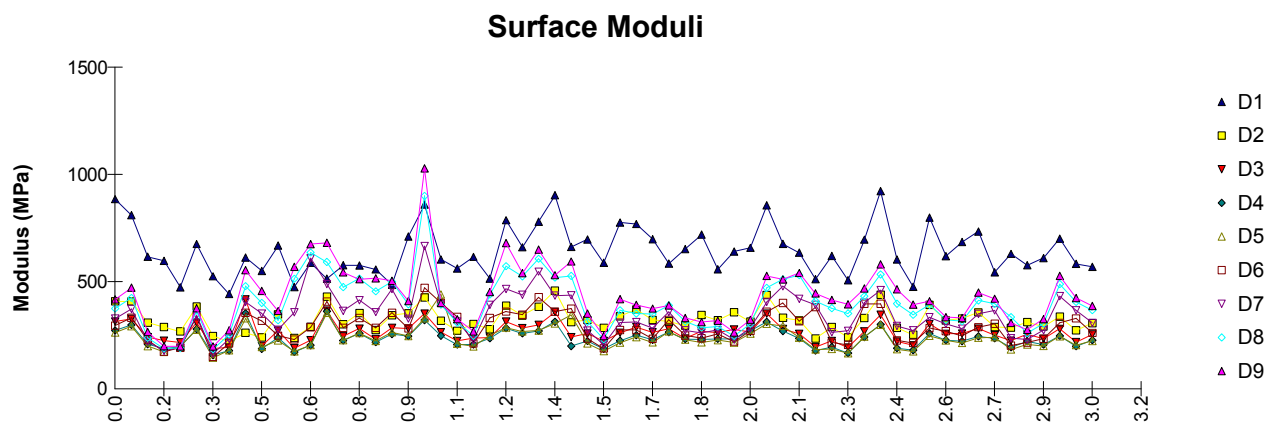
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	61	588	1001	365	1.241
200	61	277	435	171	1.231
300	61	227	340	148	1.214
450	61	207	352	138	1.222
600	61	215	329	126	1.248
900	61	270	463	132	1.283
1200	61	322	485	154	1.26
1500	61	379	583	184	1.244
1800	61	416	626	206	1.235

➤ Profil 3,5D : 3.5ml à droite de l'axe central de la piste



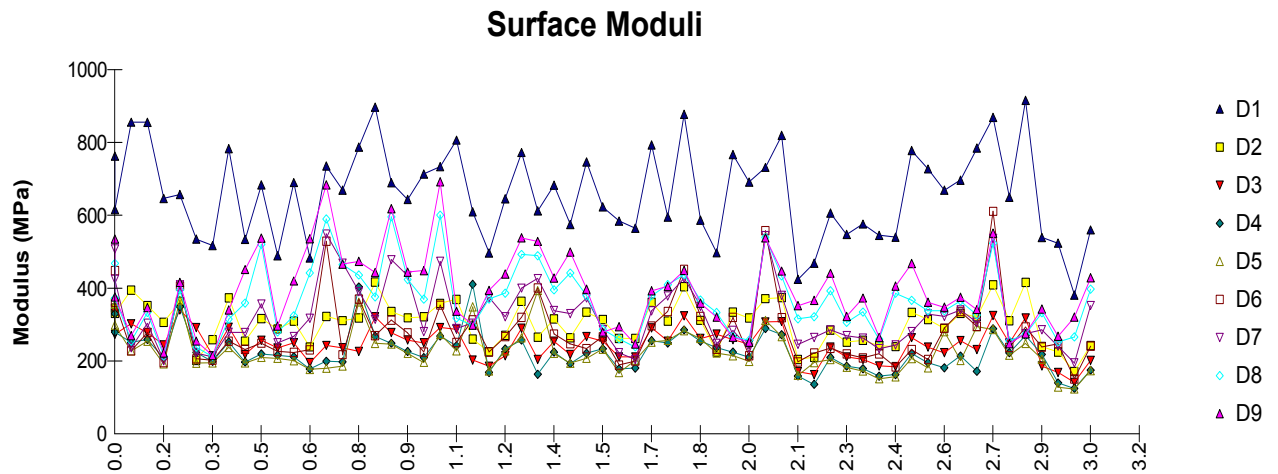
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	61	599	867	394	1.198
200	61	289	401	180	1.215
300	61	236	351	145	1.218
450	61	215	404	130	1.227
600	61	217	399	126	1.262
900	61	260	491	113	1.323
1200	61	310	683	109	1.393
1500	61	361	676	114	1.418
1800	61	392	711	121	1.425

➤ Profil 3,5G : 3.5ml à gauche de l'axe central de la piste



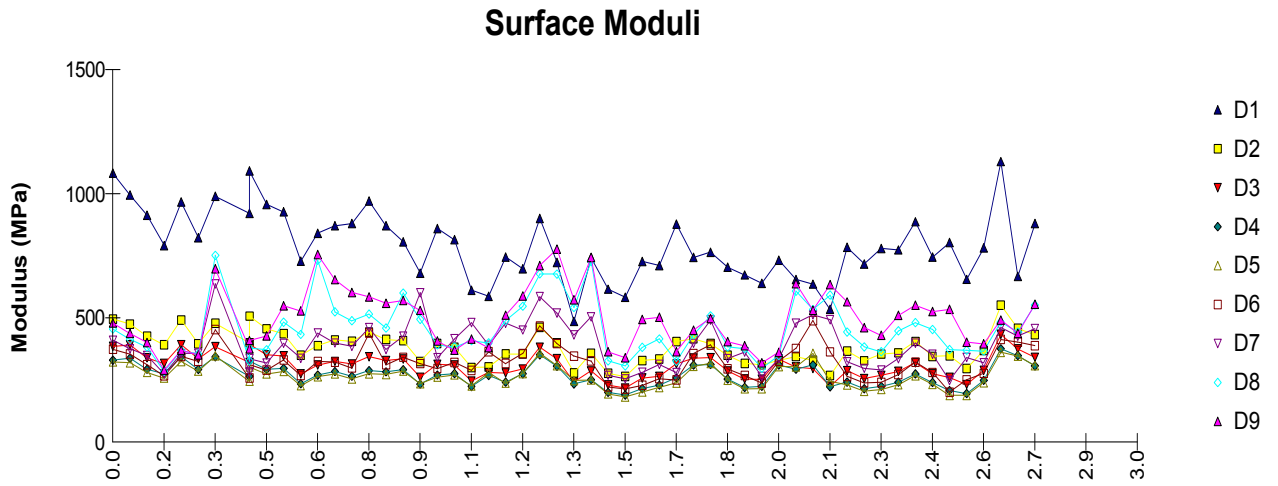
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	61	633	923	443	1.189
200	61	318	458	221	1.186
300	61	260	417	189	1.191
450	61	232	362	158	1.2
600	61	233	441	145	1.235
900	61	282	471	150	1.282
1200	61	330	666	164	1.338
1500	61	381	900	185	1.369
1800	61	410	1029	198	1.382

➤ Profil 7D : 7ml A droite de l'axe central de la piste



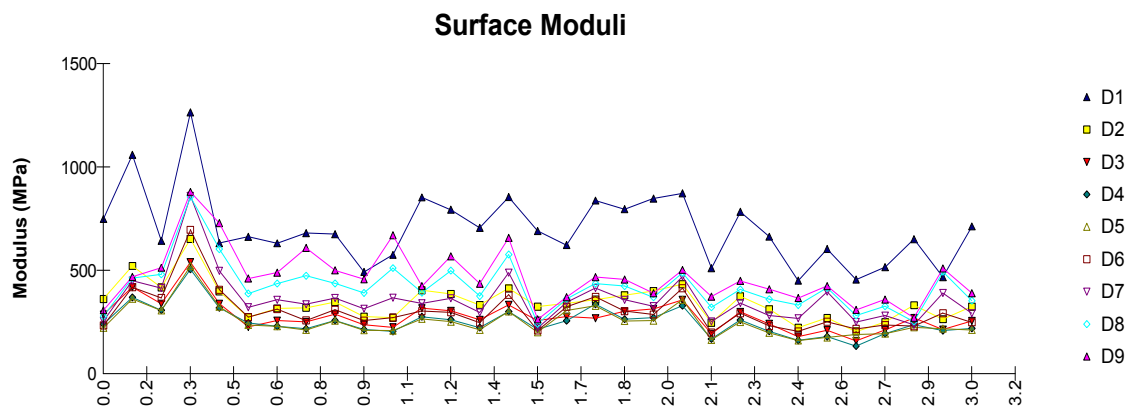
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	62	647	916	381	1.216
200	62	299	417	171	1.219
300	62	243	341	142	1.214
450	62	220	411	125	1.267
600	62	221	394	123	1.275
900	62	269	611	151	1.325
1200	62	315	549	195	1.301
1500	62	355	601	213	1.289
1800	62	380	692	215	1.316

➤ Profil 7G : 7ml A gauche de l'axe central de la piste



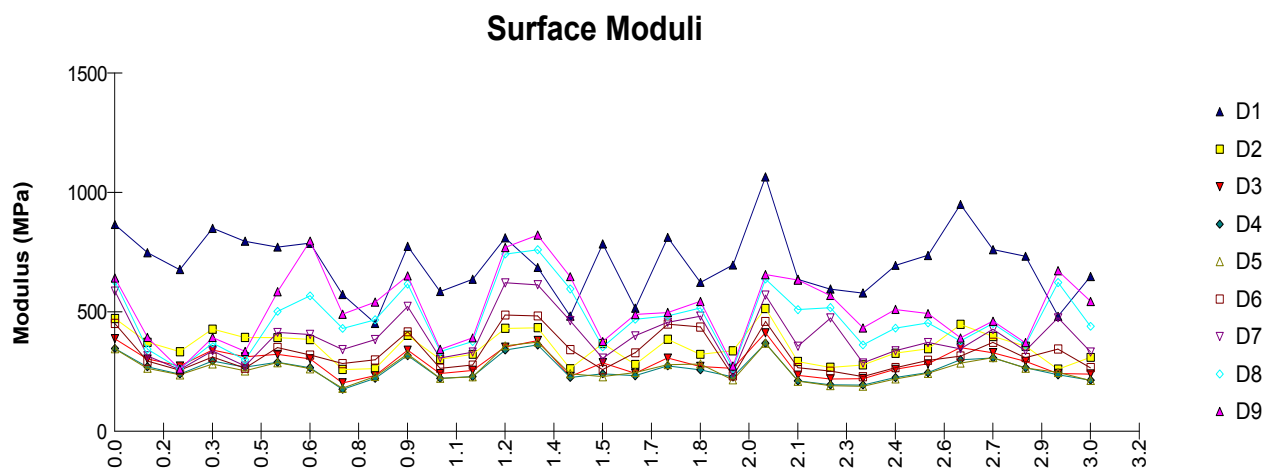
Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	61	779	1130	486	1.197
200	61	376	552	264	1.186
300	61	304	434	218	1.175
450	61	268	376	190	1.18
600	61	262	362	182	1.193
900	61	313	489	201	1.225
1200	61	380	637	248	1.256
1500	61	443	752	285	1.265
1800	61	482	778	290	1.264

➤ Profil 14D : 14ml A droite de l'axe central de la piste



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	31	682	1265	451	1.271
200	31	336	653	204	1.276
300	31	270	540	159	1.28
450	31	244	506	134	1.301
600	31	244	521	161	1.293
900	31	290	696	199	1.304
1200	31	346	860	221	1.312
1500	31	406	856	241	1.301
1800	31	450	880	263	1.315

➤ Profil 14G : 14ml A gauche de l'axe central de la piste



Position géophones (mm)	Nombre de points mesurés	E0 Moyen (Mpa)	E0 Max	E0 Min	Ecart type.
0	31	691	1066	452	1.222
200	31	347	515	259	1.213
300	31	284	413	203	1.204
450	31	256	369	176	1.207
600	31	256	374	181	1.214
900	31	321	487	229	1.252
1200	31	387	622	245	1.289
1500	31	452	760	262	1.322
1800	31	495	822	260	1.346

1. PROFIL EN LONG – PISTE 08/26

ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			-220.000	765.270
D1'	PENTE= -0.075 %	219.997		
			-0.003	765.104
PAR'	S= -0.0037 Z= 765.1040 R = -1.00	0.006		
			0.003	765.104
D1	PENTE= -0.667 %	581.481		
			581.483	761.227
PAR1	S= 781.5165 Z= 760.5599 R = 30000.00	47.033		
			628.517	760.950
D2	PENTE= -0.510 %	228.601		
			857.118	759.784
PAR2	S= 1061.1176 Z= 759.2640 R = 40000.00	95.765		
			952.882	759.410
D3	PENTE= -0.271 %	535.882		
			1488.764	757.960
PAR3	S= 1583.4700 Z= 757.8323 R = 35000.00	22.472		
			1511.236	757.907
D6	PENTE= -0.206 %	431.669		
			1942.905	757.016
PAR5	S= 2025.4584 Z= 756.9307 R = 40000.00	54.190		
			1997.095	756.941
D7	PENTE= -0.071 %	468.458		
			2465.552	756.609
PAR6	S= 2493.9161 Z= 756.5986 R = 40000.00	108.895		
			2574.448	756.680
D8	PENTE= 0.201 %	51.545		
			2625.992	756.783
PAR7	S= 2555.5274 Z= 756.7125 R = 35000.00	86.035		
			2712.028	757.062
D4	PENTE= 0.447 %	287.970		
			2999.998	758.350
PAR4	S= 3000.0025 Z= 758.3500 R = -1.00	0.004		
			3000.002	758.350
D5	PENTE= 0.051 %	219.998		
			3220.000	758.463

LONGUEUR DE L'AXE 3440.000

2. PROFIL EN LONG – BRETELLE

ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			0.000	761.202
D1	PENTE= -0.687 %	17.371		
			17.371	761.083
PAR1	S= 51.7048 Z= 760.9648 R = 5000.00	85.257		
			102.629	761.224
D2	PENTE= 1.018 %	402.645		
			505.273	765.325

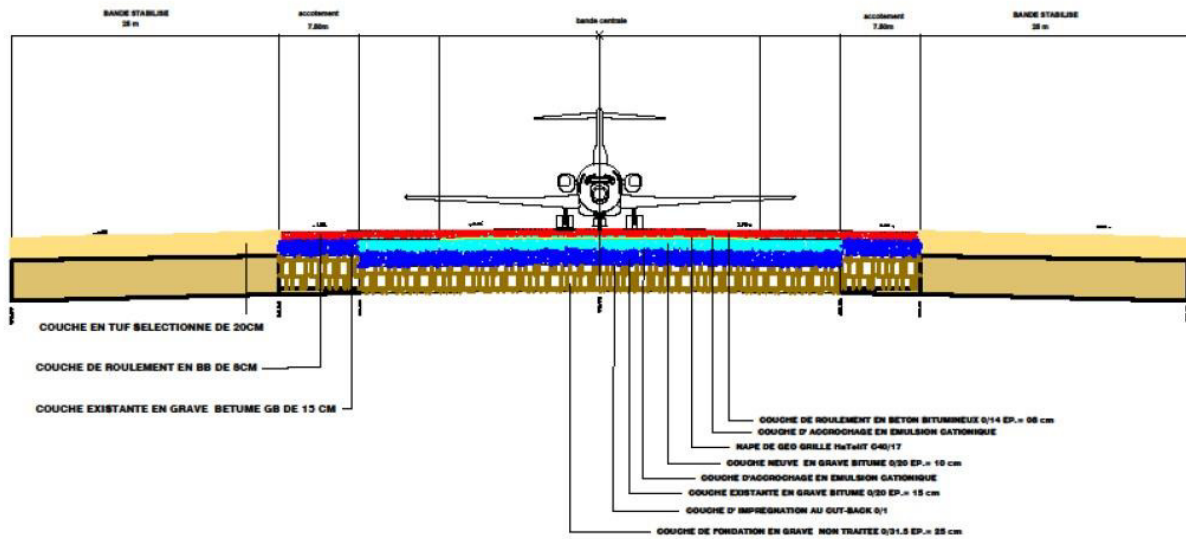
LONGUEUR DE L'AXE 505.273

3. PROFIL EN LONG – PARKING AVIONS

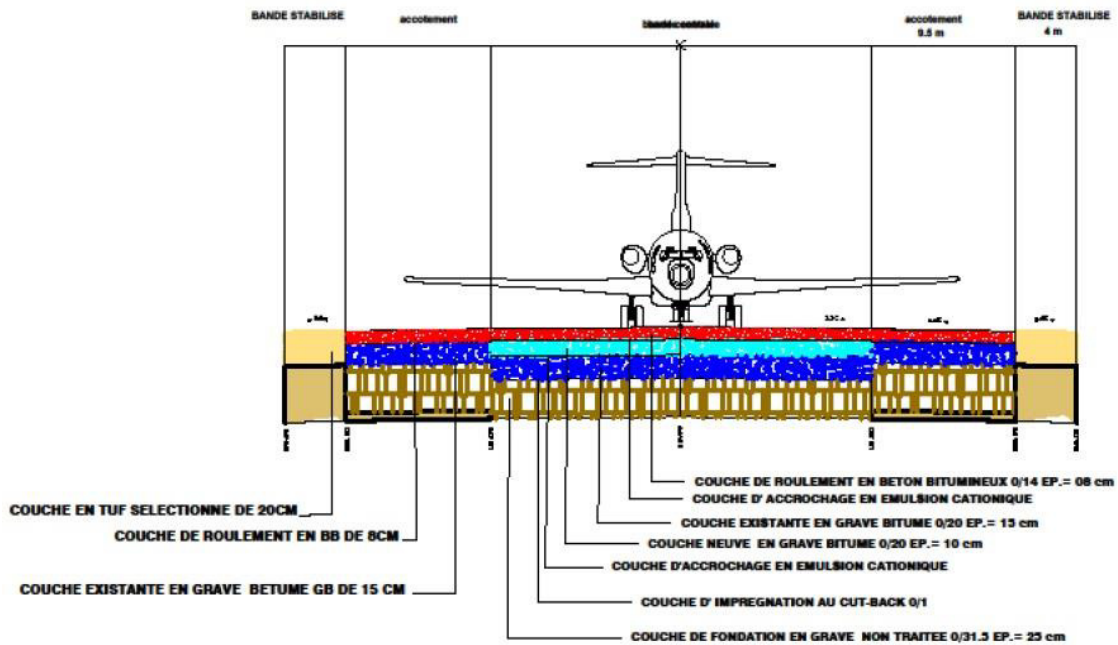
ELEM	CARACTERISTIQUES DES ELEMENTS	LONGUEUR	ABSCISSE	Z
			0.000	765.650
D1	PENTE= -0.317 %	87.132		
			87.132	765.374
PAR1	S= 39.6444 Z= 765.4493 R = -15000.00	21.576		
			108.708	765.290
D2	PENTE= -0.460 %	91.292		
			200.000	764.870

LONGUEUR DE L'AXE 200.000

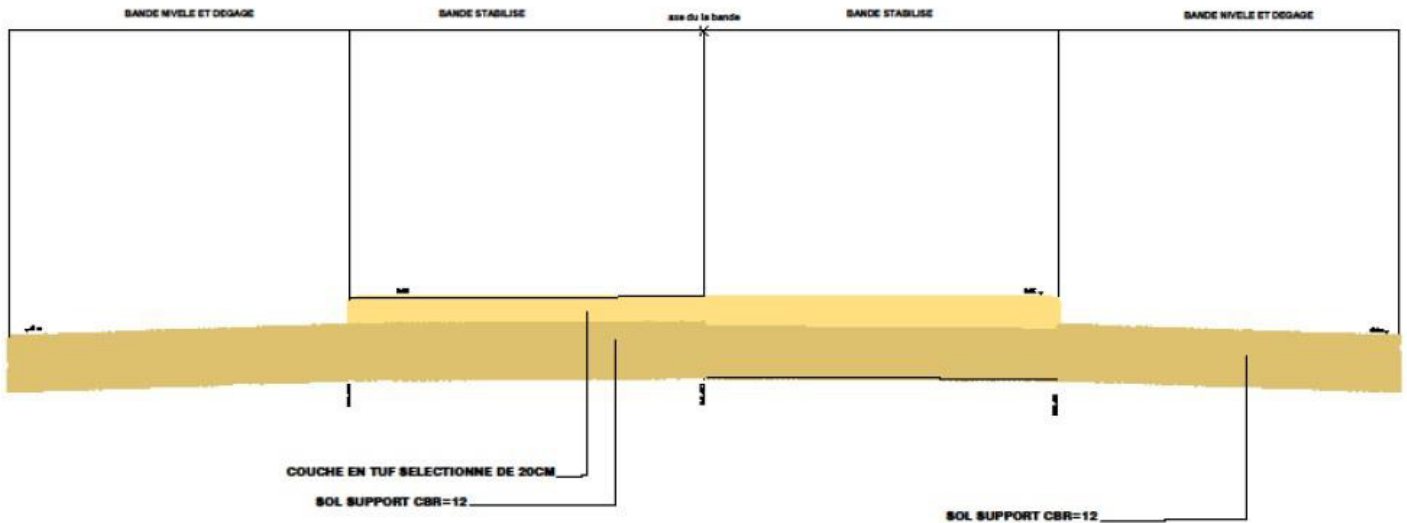
4. Profil en travers type de la piste principale



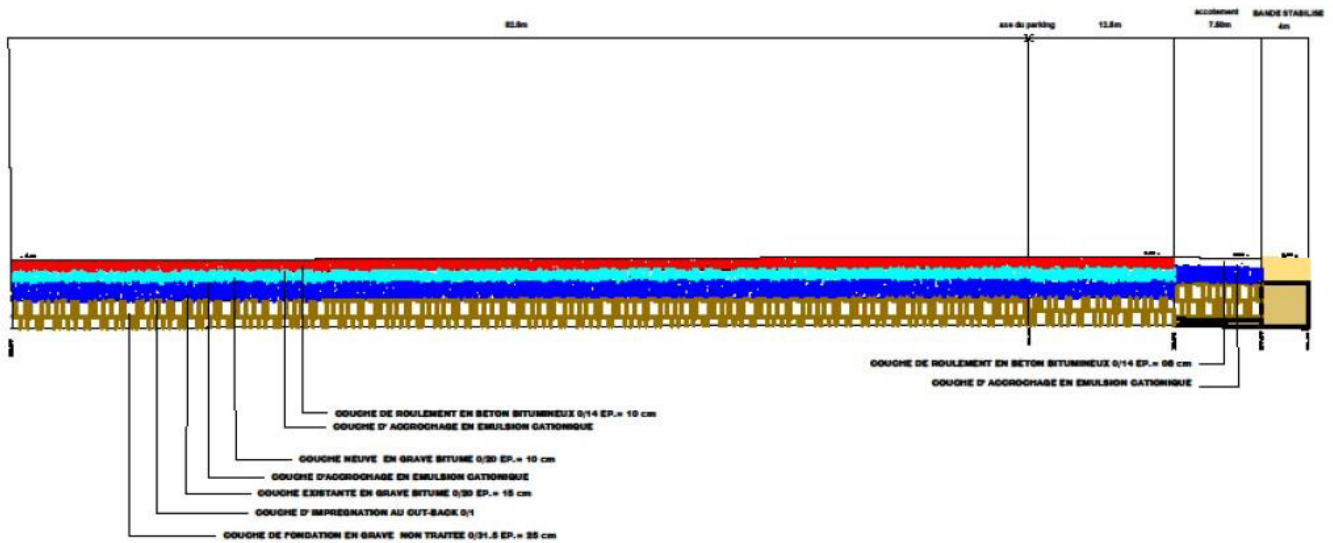
5. Profils en travers type de la bretelle



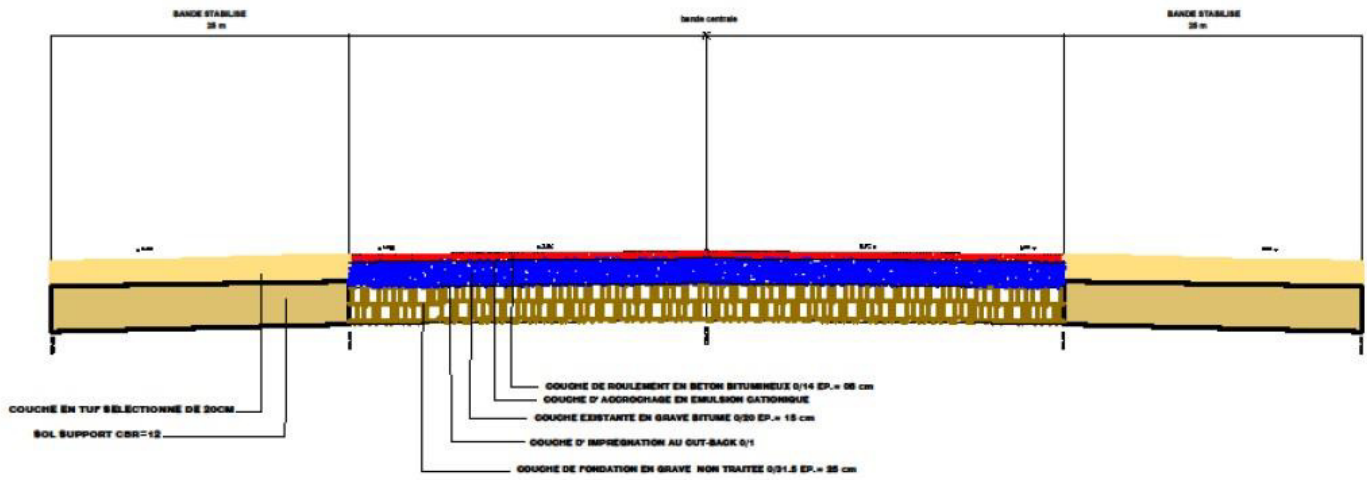
6. Profil en travers type de la bande

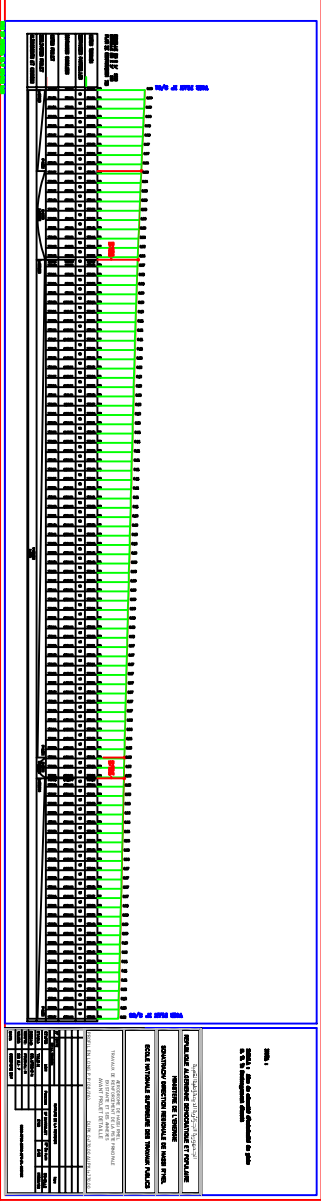


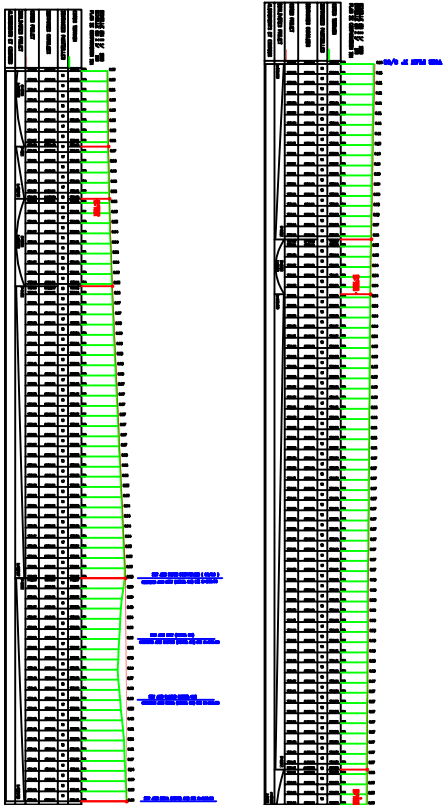
7. Profil en travers type du Parking



8. Profil en travers type du prolongement d'arrêt







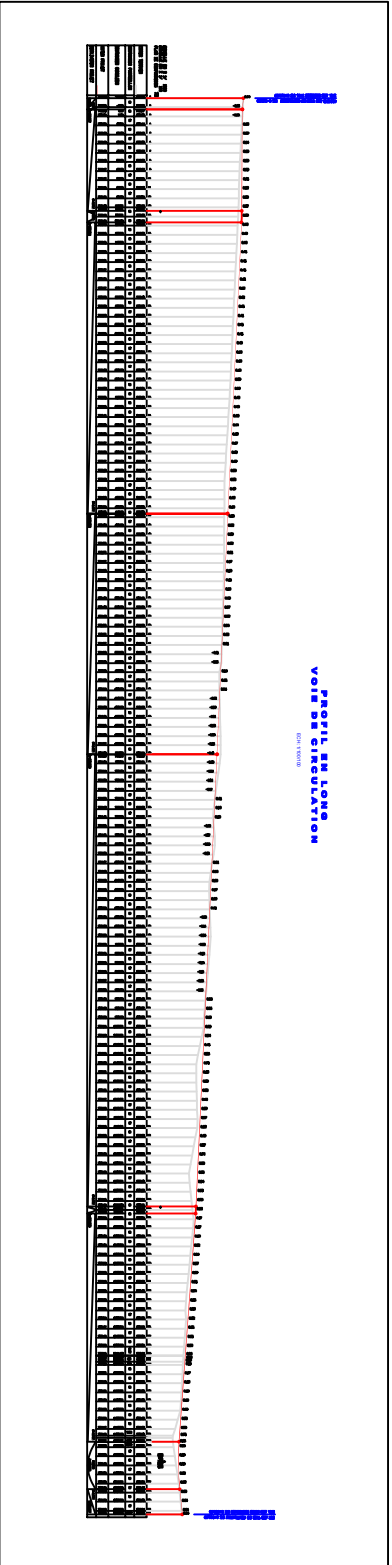
PROYECTO: []
FECHA: []
DISEÑADO POR: []
REVISADO POR: []
AUTORIZADO POR: []
ESCALA: []
SISTEMA: []
MATERIAL: []
CANTIDAD: []
UNIDAD: []
COMENTARIOS: []
NOTAS: []

Este documento es propiedad de la empresa y no debe ser reproducido ni distribuido sin el consentimiento escrito de la misma.

PROYECTO DE CABLEADO
INSTALACION DE CABLEADO EN UN SISTEMA DE CABLEADO
PROYECTO DE CABLEADO
INSTALACION DE CABLEADO EN UN SISTEMA DE CABLEADO

PROYECTO DE CABLEADO
INSTALACION DE CABLEADO EN UN SISTEMA DE CABLEADO
PROYECTO DE CABLEADO
INSTALACION DE CABLEADO EN UN SISTEMA DE CABLEADO

PROYECTO DE CABLEADO
INSTALACION DE CABLEADO EN UN SISTEMA DE CABLEADO
PROYECTO DE CABLEADO
INSTALACION DE CABLEADO EN UN SISTEMA DE CABLEADO



1. Caractéristique de l'avion de référence Boeing 737-800

L'avion Boeing 737-800 est caractérisé par :

- 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.

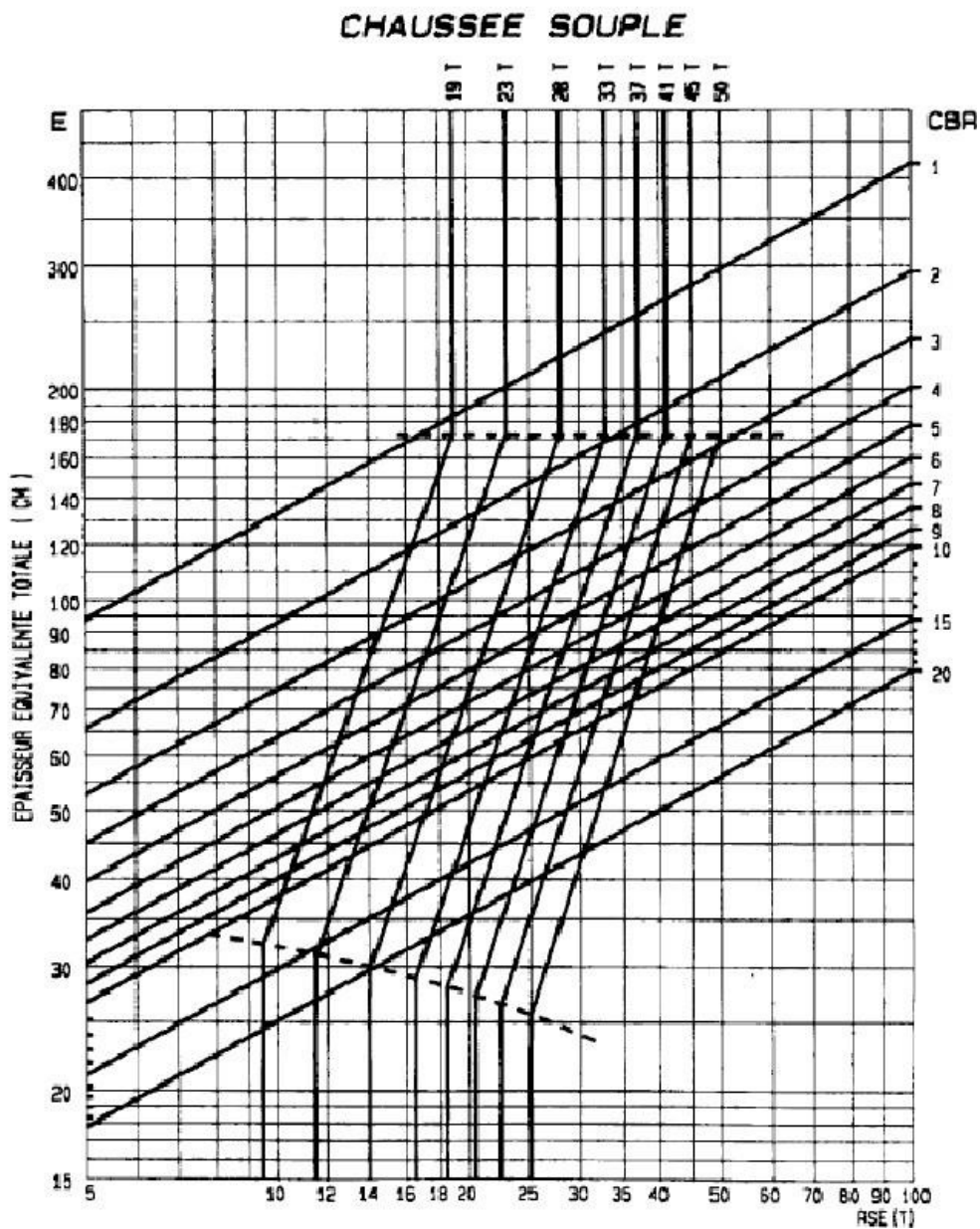


BOEING 737-800

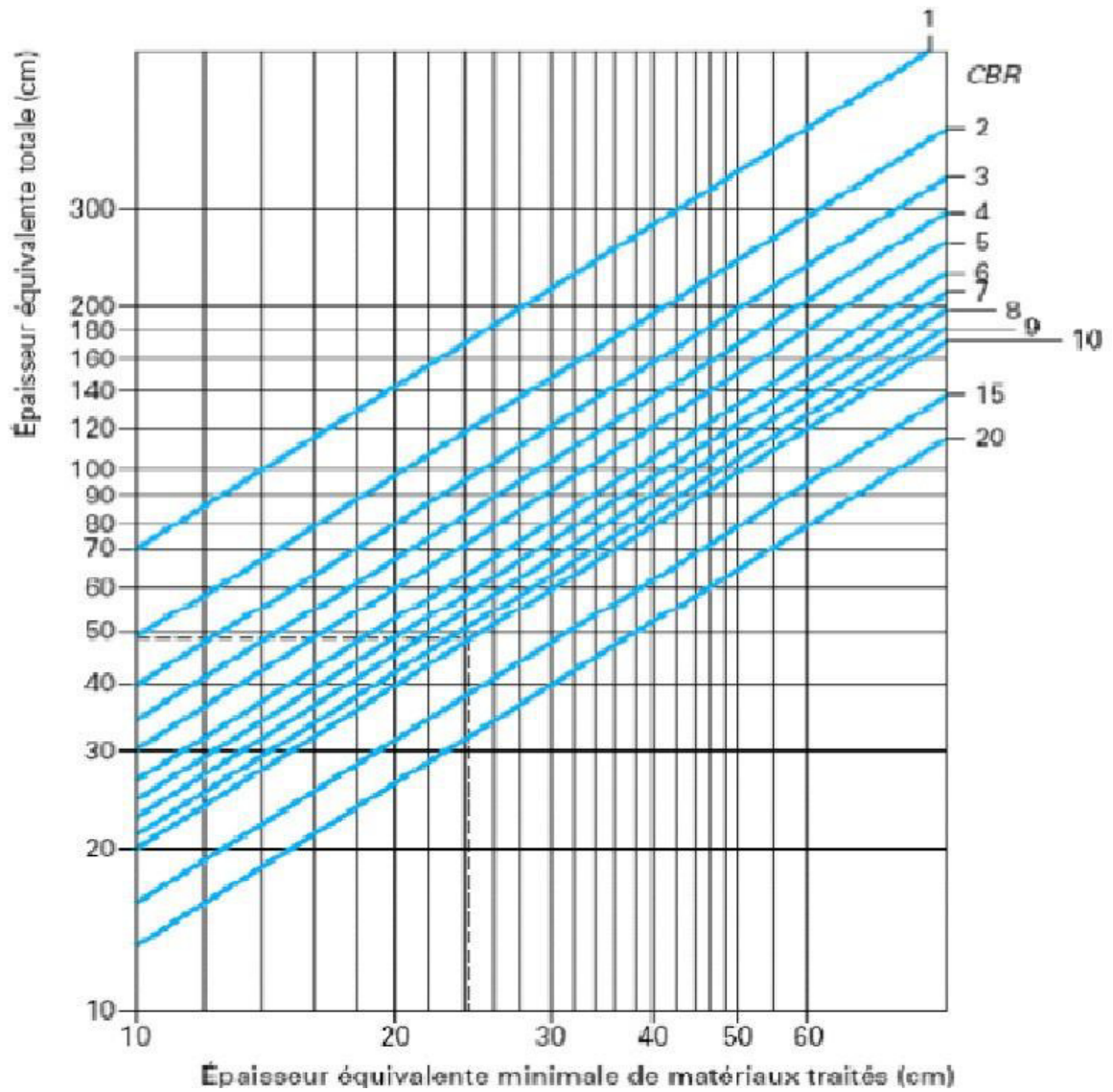
2. Abaque de dimensionnement des chaussées souple relatif au Boeing B737-800

MASSE MAXI ROULAGE (kg) = 79 500
 MASSE A VIDE OPERATIONNELLE (kg) = 41 500
 CENTRAGE AR MAX (%) = 46.77

B737 800
ATTERRISEUR PRINCIPAL
 JUMELAGE



3. Abaque de détermination des épaisseurs équivalentes minimales des matériaux traités.



- Fiche technique de la géogrille HaTelit C40/17

Masse surfacique (NF EN 965)	230 g/m²
Matière première du renforcement	PVA
Matière première du non-tissé	PP
Enduction	Bitumineuse
Dimension des mailles de renfort	40x40
Résistance à la rupture (NF EN ISO 10.319)	S longitudinal ≥ 50 kN/m S transversal ≥ 50 kN/m
Allongement à la rupture (NF EN ISO 10.319)	S longitudinal $\leq 6\%$ S transversal $\leq 6\%$
Résistance à la traction sous 3% d'allongement (NF EN ISO 10.319)	S longitudinal ≥ 25 kN/m S transversal ≥ 25 kN/m
Rétrécissement à 180° après 15min	$\leq 1\%$
Allongement dû au fluage après 2ans sous charge constante ...	$\leq 1\%$
Dimension standard	Largeur = 5m Longueur = 150m

Le logiciel PISTE 5.0 a été utilisé pour les calculs suivants

VOLUMES TERRASSEMENT Voie de circulation

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME
1	-12.500	0.0	0.0
2	-2.500	0.0	0.0
3	7.500	0.0	141.5
4	17.500	0.0	122.4
5	27.500	0.0	112.5
6	37.500	0.0	101.5
7	47.500	0.0	89.8
8	57.500	36.3	158.2
9	67.500	49.9	134.9
10	77.500	64.3	116.4
11	87.500	76.7	102.5
12	97.500	83.6	91.1
13	107.500	84.9	77.5
14	117.500	91.9	67.5
15	127.500	99.4	63.7
16	137.500	103.9	62.8
17	147.500	106.6	61.9
18	157.500	107.6	61.0
19	167.500	108.2	60.1
20	177.500	108.8	59.2
21	187.500	109.3	58.2
22	197.500	106.6	57.2
23	207.500	99.7	56.9
24	217.500	93.4	56.8
25	227.500	92.0	55.6
26	237.500	94.7	54.1
27	247.500	97.7	52.4
28	257.500	100.8	50.3
29	267.500	103.8	48.1
30	277.500	106.8	45.8
31	287.500	109.8	43.3
32	297.500	114.0	40.7
33	307.500	120.7	36.2
34	317.500	136.4	28.7
35	327.500	153.4	29.4
36	337.500	163.8	30.0
37	347.500	167.5	30.0
38	357.500	163.4	29.3
39	367.500	156.1	28.1
40	377.500	148.8	26.2
41	387.500	143.7	23.7
42	397.500	141.7	21.1
43	407.500	139.8	18.9

ANNEXE XI METRE

44	417.500	136.2	26.1
45	427.500	134.3	38.1
46	437.500	132.0	50.1
47	447.500	130.7	61.5
48	457.500	130.3	71.5
49	467.500	130.2	80.7
50	477.500	130.4	89.0
51	487.500	125.8	97.0
52	497.500	102.8	104.6
53	507.500	89.2	141.1
54	517.500	86.0	132.3
55	527.500	98.1	147.7
56	537.500	95.6	166.3
57	547.500	82.0	185.0
58	557.500	68.5	202.7
59	567.500	55.1	219.6
60	577.500	42.0	235.7
61	587.500	29.0	251.3
62	597.500	0.0	268.0
63	607.500	0.0	278.9
64	617.500	0.0	243.1
65	627.500	0.2	229.3
66	637.500	8.0	235.7
67	647.500	16.1	262.9
68	657.500	10.1	290.0
69	667.500	0.0	316.5
70	677.500	0.0	346.0
71	687.500	0.0	379.4
72	697.500	0.0	420.6
73	707.500	0.0	458.9
74	717.500	0.0	448.9
75	727.500	0.0	424.9
76	737.500	0.0	387.6
77	747.500	0.0	337.3
78	757.500	0.0	285.8
79	767.500	0.0	235.3
80	777.500	3.4	226.1
81	787.500	0.0	305.6
82	797.500	0.0	369.9
83	807.500	0.0	402.7
84	817.500	0.0	366.6
85	827.500	0.0	291.5
86	837.500	0.4	233.1
87	847.500	4.0	184.4
88	857.500	0.2	189.3
89	867.500	0.0	237.7
90	877.500	0.0	284.7
91	887.500	0.0	319.2
92	897.500	0.0	338.4
93	907.500	0.0	339.8
94	917.500	0.0	309.7
95	927.500	0.0	297.0

ANNEXE XI METRE

96	937.500	0.0	290.4
97	947.500	0.0	278.9
98	957.500	0.0	264.7
99	967.500	0.0	249.1
100	977.500	0.0	232.9
101	987.500	0.0	216.1
102	997.500	22.0	208.3
103	1007.500	28.2	215.5
104	1017.500	33.7	158.3
105	1027.500	42.5	72.3
106	1037.500	89.6	20.2
107	1047.500	173.1	11.6
108	1057.500	167.5	15.8
109	1067.500	128.7	24.0
110	1077.500	94.7	37.3
111	1087.500	68.3	58.3
112	1097.500	59.7	94.4
113	1107.500	61.0	136.6
114	1117.500	64.3	138.1
115	1127.500	72.7	69.7
116	1137.500	113.1	23.4
117	1147.500	193.3	11.3
118	1157.500	293.8	10.4
119	1167.500	385.6	10.5
120	1177.500	325.5	10.3
121	1187.500	214.4	17.4
122	1197.500	144.4	41.6
123	1207.500	114.4	76.7
124	1217.500	107.8	120.2
125	1227.500	115.9	110.7
126	1237.500	116.7	117.3
127	1247.500	104.9	120.0
128	1257.500	94.5	117.5
129	1267.500	85.3	111.7
130	1277.500	80.9	106.9
131	1287.500	80.6	102.5
132	1297.500	85.1	97.9
133	1307.500	67.8	92.7
134	1317.500	31.2	110.6
135	1327.500	13.9	153.1
136	1337.500	12.4	155.0
137	1347.500	11.9	159.5
138	1357.500	9.4	157.7
139	1366.648	3.3	84.8
140	1367.500	1.7	60.4
141	1373.704	0.0	87.9
142	1377.500	0.0	122.5
143	1387.500	0.0	180.4
144	1397.500	0.0	183.2
145	1407.500	0.0	187.3
146	1417.500	0.2	190.2
147	1427.500	1.5	187.1

ANNEXE XI METRE

148	1437.500		11.0	96.0
149	1447.500		65.2	16.1
150	1455.018		145.6	4.5
151	1457.500		16.6	0.0
152	1462.074		15.1	0.0
153	1467.500		5.6	2.2
154	1477.500		0.0	39.1
155	1487.500		0.0	76.5
156	1497.500		0.0	0.0
157	1507.500		0.0	0.0
158	1517.500		0.0	0.0
159	1527.500		0.0	0.0
160	1537.500		0.0	0.0
161	1541.394		0.0	0.0
			10001	21796

VOLUMES TERRASSEMENT La Bretelle

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000	0.0	12.1	0.0	0.0
2	10.000	0.3	7.9	0.0	0.0
3	20.000	0.4	4.2	0.0	0.0
4	30.000	4.6	1.1	0.0	0.0
5	40.000	6.4	48.1	0.0	0.0
6	50.000	3.8	48.9	0.0	0.0
7	60.000	18.7	50.4	0.0	0.0
8	70.000	83.6	53.7	0.0	0.0
9	80.000	164.5	60.0	0.0	0.0
10	90.000	216.6	54.9	0.0	0.0
11	100.000	223.1	53.1	0.0	0.0
12	110.000	149.1	52.8	0.0	0.0
13	120.000	204.3	39.4	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

14	130.000	154.1	42.8	0.0	0.0
15	140.000	157.7	42.8	0.0	0.0
16	150.000	229.6	37.2	0.0	0.0
17	160.000	230.5	38.6	0.0	0.0
18	170.000	236.1	42.3	0.0	0.0
19	180.000	249.7	44.8	0.0	0.0
20	190.000	261.5	43.1	0.0	0.0
21	200.000	147.9	48.1	0.0	0.0
22	210.000	135.6	48.3	0.0	0.0
23	220.000	273.9	40.4	0.0	0.0
24	230.000	260.2	44.1	0.0	0.0
25	240.000	248.9	49.1	0.0	0.0
26	250.000	216.4	51.9	0.0	0.0
27	260.000	176.7	58.1	0.0	0.0
28	270.000	149.4	59.6	0.0	0.0
29	280.000	118.1	62.8	0.0	0.0
30	290.000	43.4	66.3	0.0	0.0
31	300.000	16.6	80.4	0.0	0.0
32	310.000	2.3	91.8	0.0	0.0
33	320.000	0.0	105.5	0.0	0.0
34	330.000	0.0	124.5	0.0	0.0
35	340.000	0.0	107.6	0.0	0.0
36	350.000	0.0	106.3	0.0	0.0
37	360.000	0.0	101.5	0.0	0.0
38	370.000	1.9	87.1	0.0	0.0
39	380.000	5.5	78.2	0.0	0.0
40	390.000	13.7	71.8	0.0	0.0
41	400.000	31.8	65.9	0.0	0.0
42	410.000	27.4	68.0	0.0	0.0
43	420.000	20.9	68.2	0.0	0.0
44	430.000	0.0	71.7	0.0	0.0
45	440.000	0.0	9.8	0.0	0.0
46	450.000	0.0	9.6	0.0	0.0
47	460.000	0.0	15.5	0.0	0.0
48	470.000	0.0	18.0	0.0	0.0
49	480.000	0.0	25.9	0.0	0.0
50	490.000	0.1	24.9	0.0	0.0
51	500.000	0.0	20.7	0.0	0.0
52	505.273	0.0	7.5	0.0	0.0
		4 490	3 222	0	0

VOLUMES TERRASSEMENT Le Parking

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	0.000	54.3	64.2	0.0	0.0
2	10.000	101.7	141.2	0.0	0.0
3	20.000	95.2	150.9	0.0	0.0
4	30.000	67.7	123.9	0.0	0.0
5	40.000	0.0	106.3	0.0	0.0
6	50.000	3.5	84.1	0.0	0.0
7	60.000	7.4	74.7	0.0	0.0
8	70.000	14.4	67.0	0.0	0.0
9	80.000	7.9	74.8	0.0	0.0
10	90.000	5.9	76.8	0.0	0.0
11	100.000	5.4	72.3	0.0	0.0
12	110.000	2.5	76.3	0.0	0.0
13	120.000	2.9	77.8	0.0	0.0
14	130.000	5.7	78.9	0.0	0.0
15	140.000	0.0	135.3	0.0	0.0
16	150.000	4.7	85.1	0.0	0.0
17	160.000	5.2	118.8	0.0	0.0
18	170.000	2.8	129.5	0.0	0.0
19	180.000	1.8	141.6	0.0	0.0
20	190.000	1.1	149.1	0.0	0.0
21	200.000	0.5	109.7	0.0	0.0
		464	2 250	0	0

VOLUMES TERRASSEMENT La piste principale

N° PROF	ABSCISSE CURVILIGN	REMBLAI VOLUME	DEBLAI VOLUME	DECAPAGE VOLUME	PURGE VOLUME
1	-220.000	0.0	372.8	0.0	0.0
2	-210.000	0.0	756.0	0.0	0.0
3	-200.000	0.0	761.8	0.0	0.0
4	-190.000	0.0	759.4	0.0	0.0
5	-180.000	0.0	753.4	0.0	0.0
6	-170.000	0.0	744.0	0.0	0.0
7	-160.000	0.0	731.3	0.0	0.0
8	-150.000	0.0	733.4	0.0	0.0
9	-140.000	0.0	723.1	0.0	0.0
10	-130.000	0.0	683.0	0.0	0.0
11	-120.000	0.0	6670.5	0.0	0.0
12	-110.000	0.6	4751.4	0.0	0.0
13	-100.000	8.6	4297.3	0.0	0.0
14	-90.000	7.5	3722.2	0.0	0.0
15	-80.000	6.2	2973.5	0.0	0.0
16	-70.000	4.8	2965.7	0.0	0.0
17	-60.000	0.2	417.3	0.0	0.0
18	-50.000	0.3	332.5	0.0	0.0
19	-40.000	1.2	264.2	0.0	0.0
20	-30.000	9.0	177.4	0.0	0.0
21	-20.000	60.4	130.0	0.0	0.0
22	-10.000	149.7	126.3	0.0	0.0
23	0.000	94.2	47.7	0.0	0.0
24	10.000	26.1	59.9	0.0	0.0
25	20.000	2.8	61.9	0.0	0.0
26	30.000	4.3	59.4	0.0	0.0
27	40.000	6.0	57.8	0.0	0.0
28	50.000	1.8	66.2	0.0	0.0
29	60.000	0.2	79.1	0.0	0.0
30	70.000	0.0	95.8	0.0	0.0
31	80.000	0.0	113.4	0.0	0.0
32	90.000	0.0	238.5	0.0	0.0
33	100.000	0.0	257.0	0.0	0.0
34	110.000	0.0	262.8	0.0	0.0
35	120.000	0.0	263.6	0.0	0.0
36	130.000	0.0	261.7	0.0	0.0
37	140.000	0.0	271.8	0.0	0.0
38	150.000	0.0	269.7	0.0	0.0
39	160.000	0.0	267.8	0.0	0.0
40	170.000	0.0	272.2	0.0	0.0
41	180.000	0.0	285.0	0.0	0.0
42	190.000	0.0	300.7	0.0	0.0
43	200.000	0.0	309.6	0.0	0.0
44	210.000	0.0	327.2	0.0	0.0
45	220.000	0.0	326.8	0.0	0.0
46	230.000	0.0	304.0	0.0	0.0
47	240.000	0.0	289.2	0.0	0.0
48	250.000	0.0	269.5	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

49	260.000	0.0	261.7	0.0	0.0
50	270.000	0.0	253.0	0.0	0.0
51	280.000	0.0	261.7	0.0	0.0
52	290.000	0.8	197.8	0.0	0.0
53	300.000	49.7	142.5	0.0	0.0
54	310.000	19.0	146.5	0.0	0.0
55	320.000	0.0	167.3	0.0	0.0
56	330.000	0.0	157.1	0.0	0.0
57	340.000	0.0	166.4	0.0	0.0
58	350.000	0.0	172.1	0.0	0.0
59	360.000	0.0	177.7	0.0	0.0
60	370.000	0.0	184.2	0.0	0.0
61	380.000	0.0	192.7	0.0	0.0
62	390.000	16.9	197.7	0.0	0.0
63	400.000	0.0	276.2	0.0	0.0
64	410.000	0.0	226.3	0.0	0.0
65	420.000	0.0	215.8	0.0	0.0
66	430.000	0.0	204.3	0.0	0.0
67	440.000	0.0	197.0	0.0	0.0
68	450.000	0.0	186.3	0.0	0.0
69	460.000	0.0	187.7	0.0	0.0
70	470.000	0.0	186.4	0.0	0.0
71	480.000	0.0	182.3	0.0	0.0
72	490.000	1.9	164.5	0.0	0.0
73	500.000	0.0	118.2	0.0	0.0
74	510.000	0.0	128.6	0.0	0.0
75	520.000	0.0	124.4	0.0	0.0
76	530.000	0.0	124.8	0.0	0.0
77	540.000	0.0	122.4	0.0	0.0
78	550.000	0.0	119.6	0.0	0.0
79	560.000	0.0	117.0	0.0	0.0
80	570.000	0.0	116.1	0.0	0.0
81	580.000	0.0	134.1	0.0	0.0
82	590.000	0.0	146.8	0.0	0.0
83	600.000	0.0	157.6	0.0	0.0
84	610.000	0.0	164.1	0.0	0.0
85	620.000	150.2	191.6	0.0	0.0
86	630.000	75.9	210.5	0.0	0.0
87	640.000	35.3	226.1	0.0	0.0
88	650.000	0.0	230.9	0.0	0.0
89	660.000	0.0	219.2	0.0	0.0
90	670.000	0.0	205.5	0.0	0.0
91	680.000	0.0	190.5	0.0	0.0
92	690.000	0.4	177.4	0.0	0.0
93	700.000	0.0	219.1	0.0	0.0
94	710.000	0.0	245.5	0.0	0.0
95	720.000	0.0	284.5	0.0	0.0
96	730.000	0.0	314.9	0.0	0.0
97	740.000	0.0	340.4	0.0	0.0
98	750.000	0.0	364.6	0.0	0.0
99	760.000	0.0	406.4	0.0	0.0
100	770.000	0.0	407.1	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

101	780.000	0.0	407.4	0.0	0.0
102	790.000	0.0	413.7	0.0	0.0
103	800.000	0.0	420.4	0.0	0.0
104	810.000	0.0	353.3	0.0	0.0
105	820.000	0.0	306.6	0.0	0.0
106	830.000	0.0	268.8	0.0	0.0
107	840.000	0.0	223.2	0.0	0.0
108	850.000	0.0	220.2	0.0	0.0
109	860.000	0.0	220.6	0.0	0.0
110	870.000	0.0	225.3	0.0	0.0
111	880.000	0.0	241.7	0.0	0.0
112	890.000	0.0	255.6	0.0	0.0
113	900.000	0.0	267.7	0.0	0.0
114	910.000	0.0	268.7	0.0	0.0
115	920.000	0.0	265.6	0.0	0.0
116	930.000	0.0	262.2	0.0	0.0
117	940.000	0.0	254.5	0.0	0.0
118	950.000	0.0	243.5	0.0	0.0
119	960.000	0.0	230.9	0.0	0.0
120	970.000	0.0	917.4	0.0	0.0
121	980.000	0.0	903.7	0.0	0.0
122	990.000	0.0	892.2	0.0	0.0
123	1000.000	0.0	881.3	0.0	0.0
124	1010.000	0.0	435.5	0.0	0.0
125	1020.000	0.0	289.6	0.0	0.0
126	1030.000	0.0	292.4	0.0	0.0
127	1040.000	0.0	294.0	0.0	0.0
128	1050.000	0.4	278.0	0.0	0.0
129	1060.000	1.0	268.0	0.0	0.0
130	1070.000	1.5	254.9	0.0	0.0
131	1080.000	2.4	240.7	0.0	0.0
132	1090.000	2.3	241.0	0.0	0.0
133	1100.000	2.1	233.7	0.0	0.0
134	1110.000	1.9	196.3	0.0	0.0
135	1120.000	1.7	175.0	0.0	0.0
136	1130.000	1.6	149.4	0.0	0.0
137	1140.000	7.5	128.0	0.0	0.0
138	1150.000	6.6	137.1	0.0	0.0
139	1160.000	5.7	144.9	0.0	0.0
140	1170.000	6.2	153.4	0.0	0.0
141	1180.000	6.4	155.8	0.0	0.0
142	1190.000	6.7	211.6	0.0	0.0
143	1200.000	7.1	259.8	0.0	0.0
144	1210.000	7.0	214.9	0.0	0.0
145	1220.000	6.8	168.0	0.0	0.0
146	1230.000	0.8	205.5	0.0	0.0
147	1240.000	0.0	238.3	0.0	0.0
148	1250.000	0.0	334.3	0.0	0.0
149	1260.000	0.0	423.8	0.0	0.0
150	1270.000	0.0	346.6	0.0	0.0
151	1280.000	3.6	290.5	0.0	0.0
152	1290.000	25.1	269.6	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

153	1300.000	152.2	272.5	0.0	0.0
154	1310.000	151.2	282.7	0.0	0.0
155	1320.000	143.3	283.8	0.0	0.0
156	1330.000	81.1	293.1	0.0	0.0
157	1340.000	32.6	296.5	0.0	0.0
158	1350.000	2.5	298.6	0.0	0.0
159	1360.000	0.0	339.4	0.0	0.0
160	1370.000	0.0	306.6	0.0	0.0
161	1380.000	0.0	311.7	0.0	0.0
162	1390.000	0.0	331.3	0.0	0.0
163	1400.000	0.0	349.7	0.0	0.0
164	1410.000	0.0	353.5	0.0	0.0
165	1420.000	0.0	361.6	0.0	0.0
166	1430.000	0.0	392.3	0.0	0.0
167	1440.000	0.0	386.4	0.0	0.0
168	1450.000	0.0	387.1	0.0	0.0
169	1460.000	0.0	388.8	0.0	0.0
170	1470.000	0.0	404.7	0.0	0.0
171	1480.000	0.0	416.4	0.0	0.0
172	1490.000	0.0	423.9	0.0	0.0
173	1500.000	0.0	440.7	0.0	0.0
174	1510.000	0.0	415.6	0.0	0.0
175	1520.000	0.0	406.4	0.0	0.0
176	1530.000	0.0	355.3	0.0	0.0
177	1540.000	0.0	319.1	0.0	0.0
178	1550.000	0.4	285.9	0.0	0.0
179	1560.000	19.0	252.4	0.0	0.0
180	1570.000	20.2	241.2	0.0	0.0
181	1580.000	21.4	230.7	0.0	0.0
182	1590.000	22.6	220.9	0.0	0.0
183	1600.000	22.7	211.7	0.0	0.0
184	1610.000	24.9	195.3	0.0	0.0
185	1620.000	27.1	190.9	0.0	0.0
186	1630.000	27.7	185.4	0.0	0.0
187	1640.000	28.3	179.8	0.0	0.0
188	1650.000	28.0	174.1	0.0	0.0
189	1660.000	28.2	168.5	0.0	0.0
190	1670.000	28.3	163.7	0.0	0.0
191	1680.000	28.6	158.9	0.0	0.0
192	1690.000	30.0	158.9	0.0	0.0
193	1700.000	31.4	158.5	0.0	0.0
194	1710.000	25.1	157.7	0.0	0.0
195	1720.000	23.2	157.2	0.0	0.0
196	1730.000	21.5	164.5	0.0	0.0
197	1740.000	20.4	162.6	0.0	0.0
198	1750.000	19.9	158.4	0.0	0.0
199	1760.000	19.4	154.9	0.0	0.0
200	1770.000	6.5	157.7	0.0	0.0
201	1780.000	2.0	164.8	0.0	0.0
202	1790.000	0.1	170.6	0.0	0.0
203	1800.000	0.0	193.1	0.0	0.0
204	1810.000	0.1	188.1	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

205	1820.000	0.3	186.3	0.0	0.0
206	1830.000	0.5	287.9	0.0	0.0
207	1840.000	0.6	354.1	0.0	0.0
208	1850.000	0.6	277.6	0.0	0.0
209	1860.000	0.5	210.4	0.0	0.0
210	1870.000	0.0	237.4	0.0	0.0
211	1880.000	0.0	227.4	0.0	0.0
212	1890.000	184.3	175.9	0.0	0.0
213	1900.000	0.0	141.1	0.0	0.0
214	1910.000	0.0	147.4	0.0	0.0
215	1920.000	0.0	168.1	0.0	0.0
216	1930.000	0.0	176.0	0.0	0.0
217	1940.000	0.0	170.4	0.0	0.0
218	1950.000	0.0	174.1	0.0	0.0
219	1960.000	0.0	174.8	0.0	0.0
220	1970.000	0.0	172.6	0.0	0.0
221	1980.000	0.0	173.0	0.0	0.0
222	1990.000	0.0	168.6	0.0	0.0
223	2000.000	0.0	262.2	0.0	0.0
224	2010.000	0.0	259.2	0.0	0.0
225	2020.000	0.0	272.6	0.0	0.0
226	2030.000	0.0	272.2	0.0	0.0
227	2040.000	0.0	275.5	0.0	0.0
228	2050.000	0.0	313.8	0.0	0.0
229	2060.000	0.0	344.6	0.0	0.0
230	2070.000	0.0	374.4	0.0	0.0
231	2080.000	0.0	407.5	0.0	0.0
232	2090.000	0.0	328.1	0.0	0.0
233	2100.000	0.0	307.8	0.0	0.0
234	2110.000	0.0	371.8	0.0	0.0
235	2120.000	0.0	420.1	0.0	0.0
236	2130.000	0.0	391.0	0.0	0.0
237	2140.000	0.0	313.8	0.0	0.0
238	2150.000	0.0	268.7	0.0	0.0
239	2160.000	0.0	217.4	0.0	0.0
240	2170.000	0.0	203.3	0.0	0.0
241	2180.000	0.0	229.4	0.0	0.0
242	2190.000	0.0	229.3	0.0	0.0
243	2200.000	0.0	204.0	0.0	0.0
244	2210.000	0.0	188.2	0.0	0.0
245	2220.000	0.0	169.0	0.0	0.0
246	2230.000	0.0	196.6	0.0	0.0
247	2240.000	0.0	248.0	0.0	0.0
248	2250.000	0.0	248.0	0.0	0.0
249	2260.000	0.0	238.0	0.0	0.0
250	2270.000	13.4	214.8	0.0	0.0
251	2280.000	39.2	198.3	0.0	0.0
252	2290.000	40.6	195.6	0.0	0.0
253	2300.000	42.1	192.9	0.0	0.0
254	2310.000	22.0	190.6	0.0	0.0
255	2320.000	14.3	190.1	0.0	0.0
256	2330.000	7.0	178.9	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

257	2340.000	3.3	166.0	0.0	0.0
258	2350.000	9.6	139.9	0.0	0.0
259	2360.000	17.3	122.9	0.0	0.0
260	2370.000	24.2	107.9	0.0	0.0
261	2380.000	44.9	109.8	0.0	0.0
262	2390.000	44.2	101.1	0.0	0.0
263	2400.000	45.5	94.3	0.0	0.0
264	2410.000	50.3	86.8	0.0	0.0
265	2420.000	58.9	83.1	0.0	0.0
266	2430.000	63.8	81.2	0.0	0.0
267	2440.000	64.6	79.5	0.0	0.0
268	2450.000	81.5	110.3	0.0	0.0
269	2460.000	112.6	67.3	0.0	0.0
270	2470.000	138.9	73.7	0.0	0.0
271	2480.000	107.3	82.2	0.0	0.0
272	2490.000	102.7	87.2	0.0	0.0
273	2500.000	77.1	90.7	0.0	0.0
274	2510.000	34.6	96.9	0.0	0.0
275	2520.000	15.1	111.2	0.0	0.0
276	2530.000	0.7	133.5	0.0	0.0
277	2540.000	0.0	163.7	0.0	0.0
278	2550.000	0.0	171.8	0.0	0.0
279	2560.000	0.0	185.5	0.0	0.0
280	2570.000	0.0	186.5	0.0	0.0
281	2580.000	0.0	196.8	0.0	0.0
282	2590.000	0.0	195.5	0.0	0.0
283	2600.000	0.0	186.3	0.0	0.0
284	2610.000	0.0	217.2	0.0	0.0
285	2620.000	0.0	252.6	0.0	0.0
286	2630.000	0.0	358.1	0.0	0.0
287	2640.000	0.0	344.5	0.0	0.0
288	2650.000	0.0	352.1	0.0	0.0
289	2660.000	0.0	353.9	0.0	0.0
290	2670.000	0.0	358.3	0.0	0.0
291	2680.000	0.0	352.8	0.0	0.0
292	2690.000	0.0	367.9	0.0	0.0
293	2700.000	0.0	377.8	0.0	0.0
294	2710.000	0.0	389.1	0.0	0.0
295	2720.000	0.0	403.4	0.0	0.0
296	2730.000	0.0	397.7	0.0	0.0
297	2740.000	0.0	393.6	0.0	0.0
298	2750.000	0.0	372.4	0.0	0.0
299	2760.000	0.0	349.6	0.0	0.0
300	2770.000	0.0	337.9	0.0	0.0
301	2780.000	0.0	325.2	0.0	0.0
302	2790.000	0.0	317.5	0.0	0.0
303	2800.000	0.0	302.4	0.0	0.0
304	2810.000	0.0	303.7	0.0	0.0
305	2820.000	0.0	301.4	0.0	0.0
306	2830.000	0.0	289.4	0.0	0.0
307	2840.000	0.0	279.5	0.0	0.0
308	2850.000	0.0	267.0	0.0	0.0

ANNEXE XI METRE

309	2860.000	0.0	236.8	0.0	0.0
310	2870.000	0.0	240.3	0.0	0.0
311	2880.000	0.0	241.5	0.0	0.0
312	2890.000	0.0	228.7	0.0	0.0
313	2900.000	0.0	123.5	0.0	0.0
314	2910.000	0.0	128.5	0.0	0.0
315	2920.000	0.0	134.2	0.0	0.0
316	2930.000	0.0	139.7	0.0	0.0
317	2940.000	0.0	147.0	0.0	0.0
318	2950.000	0.0	155.8	0.0	0.0
319	2960.000	0.0	163.8	0.0	0.0
320	2970.000	0.0	171.1	0.0	0.0
321	2980.000	0.0	184.3	0.0	0.0
322	2990.000	0.0	187.8	0.0	0.0
323	3000.000	8.6	278.2	0.0	0.0
324	3010.000	4.1	232.4	0.0	0.0
325	3020.000	14.7	212.9	0.0	0.0
326	3030.000	45.6	195.2	0.0	0.0
327	3040.000	88.3	159.8	0.0	0.0
328	3050.000	139.5	130.1	0.0	0.0
329	3060.000	119.6	1955.6	0.0	0.0
330	3070.000	152.6	2370.0	0.0	0.0
331	3080.000	189.8	2562.4	0.0	0.0
332	3090.000	225.7	2624.6	0.0	0.0
333	3100.000	184.9	2654.2	0.0	0.0
334	3110.000	135.2	3002.8	0.0	0.0
335	3120.000	93.3	94.2	0.0	0.0
336	3130.000	57.2	149.6	0.0	0.0
337	3140.000	26.8	216.1	0.0	0.0
338	3150.000	7.1	303.0	0.0	0.0
339	3160.000	0.9	377.4	0.0	0.0
340	3170.000	0.0	419.0	0.0	0.0
341	3180.000	0.0	465.2	0.0	0.0
342	3190.000	0.0	515.2	0.0	0.0
343	3200.000	0.0	569.3	0.0	0.0
344	3210.000	0.0	627.2	0.0	0.0
345	3220.000	0.0	345.2	0.0	0.0
		5 651	135 322	0	0