

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université De Mostaganem
Faculté des sciences et de la Technologie
Département Génie Civil

MEMOIRE
Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Magister en Génie Civil

Option
Pathologie et auscultation des ouvrages en béton

Thème

Pathologie des ouvrages cas des
dégradations des chaussées
aéronautiques du sud algérien

Présenté par : Aïssaoui Mohammed

Jury

HIMOURI Slimane MCA Promoteur

Année universitaire 2008/2009

Résumé

La principale pathologie relevée dans l'ensemble des ouvrages aéroportiers algériens et en particulier ceux du sud sont du type fissures, arrachements, déformations et autres dégradations. Le relevé des dégradations de surface et son interprétation ont été associée à la méthode dite Indice de Service afin de préciser le niveau de dégradation de ces chaussées. Le relevé et l'analyse des dégradations peuvent aboutir à des programmes d'identification et de traitement conduisant à un meilleur ciblage de l'entretien des pistes et des airs des aérodromes concernés Adrar, Béchar, Timimoun et Tindouf.

La dégradation de surface constitue, dans la plupart des cas, un des premiers indicateurs de l'évolution des caractéristiques structurelles et superficielles des chaussées. Le relevé des dégradations de surface et son interprétation associée à la méthode dite Indice de Service et PCI est la première démarche d'investigation pour apprécier le niveau de dégradations des pistes dans le souci de la sécurité des vols et la gestion du patrimoine que constituent les chaussées aéronautiques. Les méthodes et les moyens d'entretien sont basés sur l'analyse de relevés et sur les différents indicateurs d'état permettant d'apprécier le niveau de qualité d'une chaussée. Elle constitue en cela une aide à la décision précieuse en matière d'entretien, de réfection, d'auscultation lourde et d'adéquation de la portance déclarée à la capacité réelle de la chaussée.

La lutte contre ce type de dégradations nécessite un relevé exact des types de dégradation, une analyse et une méthodologie d'entretien basé sur des matériaux ayant de bonnes caractéristiques géotechniques et mécaniques.

Etude de cas a touché les aéroports de Béchar, de Timimoun, d'Adrar et de Tindouf.

Mots clés : pathologie, structure, chaussées, dégradation, fissures, entretien, indice de service.

Sommaire

Chapitre I : INTRODUCTION GENERALE	
1.1 Introduction	2
1.2 Présentation du sujet	5
1.3 Objet du mémoire	7
Chapitre II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	
2.1 Introduction	9
2.2 Les chaussées aéronautiques	10
2.2.1 Description matérielle d'une chaussée	10
2.2.2 Constitution et rôle d'une chaussée	10
2.3 Les facteurs influents sur les dégradations	12
2.3.1 Le climat	12
2.3.2 Le sol support	14
2.3.3 Les charges	16
2.3.4 Les matériaux	18
2.3.5 La fabrication et la mise en œuvre	18
2.4 Type de pathologie	19
2.4.1 Les dégradations des chaussées souples	19
2.4.2 Les dégradations des chaussées rigides	22
2.5 La méthode PCI (pavement condition index) ou indices de service (IS)	24
2.5.1 Principe de la méthode PCI	24
2.5.2 Méthode de calcul du PCI	29
2.5.3 Indices de service	31
2.6 Conclusion	33
Chapitre III : Relèves des dégradations dans les chaussées aéronautiques	
3.1 Introduction	35
3.2 Données climatologiques	36
3.3 Aperçu géologique	38
3.4 Présentation des aérodromes	41
3.4.1 Aérodrome d'Adrar	41
3.4.2 Aérodrome de Bechar	48
3.4.3 Aérodrome de Timimoun	51
3.4.4 Aérodrome de Tindouf	53
3.5 Analyse géotechnique	56
3.5.1 Aérodrome d'Adrar	56
3.5.2 Aérodrome de Bechar	65
3.5.3 Aérodrome de Timimoun	66
3.5.4 Aérodrome de Tindouf	68
3.6 Dimensionnement	72
3.6.1 Dimensions des constituants de l'aérodrome d'Adrar	75
3.6.2 Aérodrome de Tindouf	76
3.6 Conclusion	75

Sommaire

Chapitre IV : Relèves des dégradations dans les chaussées aéronautiques

4.1 Introduction	74
4.2 Relèves des dégradations dans les chaussées souples	75
4.2.1 Famille des fissures	76
4.2.2 La famille des arrachements	84
4.2.3 La famille des déformations	87
4.2.4 Autres dégradations	90
4.3 Relèves des dégradations dans les chaussées rigides	94
4.4 Analyse des dégradations dans les chaussées souples	101
4.4.1 Famille des fissures	101
4.4.2 Famille des arrachements	103
4.4.3 Famille des déformations	103
4.4.4 Autres dégradations	104
4.5 Analyse des dégradations dans les chaussées rigides	105
4.5.1 Dégradations de structure	105
4.5.2 Dégradations de surface	106
4.5.3 Dégradation de joint	107
4.5.4 Autres dégradations	107
4.6 Les causes probables et conséquences (Chaussées souples)	108
4.6.1 Famille de fissures	108
4.6.2 Famille des arrachements	109
4.6.3 Famille des déformations	110
4.6.4 Autres dégradations	110
4.7 Les causes probables et conséquences (Chaussées rigides)	112
4.7.1 Dégradation de structure	112
4.7.2 Dégradation de surface	113
4.7.3 Dégradation de joint	113
4.7.4 Autres dégradations	114
4.8 Conclusion	115

Chapitre V : TRAITEMENT DES DEGRADATIONS

5.1 Introduction	114
5.2 La méthode PCI	115
5.3 Analyse de dégradations	116
5.4 Traitement des dégradations	126
5.4.1 Entretien des chaussées souples	126
5.4.2 Entretien des chaussées rigides	130
5.5 Problèmes de fissures	132
5.5.1 Classification	132
5.5.2 La remontée des fissures dans les couches de surface	133
5.5.3 La préfissuration	133
5.5.4 Techniques anti-fissures en entretien	134
5.5.5 Interposition d'un enrobé fin	136
5.6 Les géotextiles	137
5.6.1 Fonctions et rôles des géotextiles	137
5.6.2 Renforcement et stabilisation	139
5.7 Conclusion	142

Chapitre VI : CONCLUSION GENERALE

Bibliographie

Annexe

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1.1 : PATRIMOINE AEROPORTUAIRE ALGERIEN

Chapitre II

Figure 2.1 : Corps de chaussée type

Figure 2.2 : Répartition des contraintes dans une structure de chaussée

Figure 2.3 : Déformation sous charge

Figure 2.4 : Schéma présentatif des principales dégradations

Figure 2.5 : Abaque d'indice de surface IS

Figure 2.6 : Abaque de niveau de service

Figure 2.7 : Exemple de zonage de comportements homogènes des chaussées d'un aérodrome

Figure 2.8 : Exemple d'histogramme de l'état d'une piste

Figure 2.9 : Schéma de l'état IS

Figure 2.10 : schéma d'un calcul IS d'une section

Chapitre III

Figure 3.1 : Carte de la région de touat

Figure 3.2 : Plan de l'aérodrome d'Adrar

Figure 3.3 : Evolution du trafic 1999 à 2004

Figure 3.4 : Vitesse du vent traversier

Figure 3.5 : Aérodrome de Béchar vue satellite

Figure 3.6 : Aérodrome de Timimoun vue satellite

Figure 3.7 : Aérodrome de Tindouf vue satellite

Figure 3.8 : les carottes prélevées de la piste

Figure 3.9 : les carottes prélevées du parking

Figure 3.10: les carottes prélevées des bretelles

Figure 3.11 : la place de la carotte après sondage

Figure 3.12: type de carottes prélevées de l'aérodrome de Tindouf

Chapitre IV

Figure 4.1 : Fissure de joint d'un niveau élevé

Figure 4.2 : Fissure de joint

Figure 4.3 : Fissure de retrait élevé

Figure 4.5 : Faïençage de retrait avec un degré moyen

Figure 4.5 Fissure de fatigue

Figure 4.6 : Faïençage généralisé et dépôt de gomme

Figure 4.7 : Fissure de joint

Figure 4.8 Fissure de retrait

Figure 4.9 Fissure de fatigue

Figure 4.10 : désenrobage

Figure 4.11 : Désenrobage

Figure 4.12 Désenrobage

Sommaire

Figure 4.13 : Gonflement - Bourrelet

Figure 4.14 : Ornières

Figure 4.15 : Gonflement / Bourrelet

Figure 4.16 : Dépôt de gomme niveau élevé.

Figure 4.17 : Réparation ponctuelle dégradée dépôt du sable dans le joint

Figure 4.18 : Dépôt de gomme

Figure 4.19 : Dépôt de gomme

Figure 4.20 : Réparation ponctuelle dégradée

Figure 4.21 : Cassure d'angle grave

Avec réparation ponctuelle (bout bétonné 01)

Figure 4.22 : Cassure d'angle et épaufrure élevée avec réparation ponctuelle (parking)

Figure 4.23 : Cassure d'angle élevée (bout bétonné N°19)

Figure 4.24 : Fissure élevée avec carottage existant (bout bétonné N°01)

Figure 4.25 : Fissure élevée (parking)

Figure 4.26 : Fissure élevée (bout bétonné N°19)

Figure 4.27 : Epaufrure graves (bout bétonné N°01)

Figure 4.28 : Epaufrure graves (parking)

Figure 4.29 : Epaufrure de degrés moyen (bout bétonné N°19)

Figure 4.30 : Ecaillage d'un degré moyen (bout bétonné N°01)

Figure 4.31 : Ecaillage d'un degré élevé (parking)

Figure 4.32 : Ecaillage d'un degré élevé (bout bétonné N°19)

Figure 4.33 : Défaut de joint (bout bétonné N°01)

Figure 4.34 : Défaut de joint (bout bétonné N°19)

Figure 4.35 : Défaut de joint (parking)

Figure 4.35 : Dépôt de gommes

Chapitre V

Figure 5.1 : Schéma du calcul de l'IS moyen de la section

Figure 5.2 : travaux de reprofilage

Figure 5.3 : Filtre de sol à proximité du géotextile

Figure 5.4 : La séparation de couche

Figure 5.5 : Élément composite de drainage

Figure 5.6 : Stabilité de l'assise

Chapitre I : INTRODUCTION GENERALE

1.1 Introduction

1.2 Présentation du sujet

1.3 Objet du mémoire

1.1 Introduction

Le transport aérien joue un rôle important dans le système de transport algérien et ce, en raison de l'étendue du pays et de la répartition géographique de la population : 70% concentrée sur une bande côtière, 20% au niveau des Hauts Plateaux et 10% dans les régions du sud.

Cette partie d'introduction a pour objet de fournir un aperçu sur les structures organisationnelles, les procédures opérationnelles, les caractéristiques des infrastructures existantes, le trafic et les investissements en matière d'aéroports, de services aéroportuaires et de transport aérien. Les activités de transport aérien en Algérie relèvent du Ministère des Transports par contre la réalisation et l'entretien des infrastructures de base sont du ressort du Ministère des Travaux Publics.

La configuration des flux de transport en Algérie reflète le caractère prédominant des trafics routiers et l'activité d'importation qui s'articulent autour des grandes villes côtières. Pour le transport aérien, les flux de trafic sont essentiellement établis sur l'axe Algérie-Europe et sur trois axes domestiques : nord-nord, nord-sud et sud-sud.

Les aéroports du sud connaissent plus de difficulté, surtout à cause des dégradations. L'apparition des dégradations dans les chaussées est apparu depuis les années 1980. Dans les années 1990, par défaut de moyens financiers et techniques la plupart des aéroports touchés n'ont pas reçu les aménagements nécessaires. Dans les années 2000, la situation nécessitait une intervention d'urgence, en 2009 nous sommes encore en phase d'analyse et d'étude sauf dans le cas d'Adrar où les travaux de reprofilage sont en cours.

Les dégradations constatées sont due à plusieurs facteurs nous pouvons citer en particulier le climat de région (période de grande sécheresse), le cumul du trafic, la mauvaise qualité du sol support et parfois l'excès des contraintes environnementales (les contraintes associées aux variations quotidiennes de température, aux gradients de température). Comme ces dégradations peuvent résulter de défauts de construction d'erreurs dans la conception de la chaussée ou lors de sa mise en œuvre (sous dosage du liant, mauvaise réalisation des joints...) soit des mouvements du sol, pertes de portance due à une augmentation de la teneur en eau du sol mal drainé, mauvais compactage de la plateforme, glissement des terrains.

La classification des aérodromes en tenant compte de la nature du travail assuré par l'aérodrome, de l'infrastructure, des aides à la navigation et aux services au sol et des services prévus dans l'intérêt de la sécurité aéronautique, répartit entre quatre classes les aérodromes ouverts à la circulation d'aéronefs aériens utilisables en toutes circonstances:

- Classe A: aérodromes internationaux destinés aux services aériens réguliers et utilisables en toutes circonstances.
- Classe B: aérodromes internationaux destinés aux services aériens non réguliers et utilisables en toutes circonstances.
- Classe C: aérodromes destinés aux services aériens à l'intérieur de l'Algérie.
- Classe D : aérodromes destinés aux services aériens privés et de travail aérien, aux giravions et aux aéronefs à décollage verticale ou oblique.

En général, la capacité des infrastructures aéroportuaires satisfait la demande actuelle, plus de 40 aéroports sont en état de service. Les aérodromes sont dimensionnés pour accueillir des appareils variant des gros porteurs (tel que le Boeing 747) au moyen et petit porteur (pour certains des aéroports de l'intérieur du pays).

Contrairement aux infrastructures de base, les aéroports passagers se trouvent en plusieurs endroits confrontés à des problèmes de sous capacité. Les aéroports de fret se réduisent en général à de simples hangars gérés par la Compagnie Nationale Air Algérie dont le volume global de stockage est largement insuffisant pour satisfaire une demande de plus en plus croissante. Les bâtiments techniques (tours de contrôle, bloc SSIS, centrales électriques) sont en général dans de bonnes conditions, plusieurs réaménagements étant en cours.

Sur les 35 aéroports qui sont ouverts à la circulation aérienne publique, la plupart sont surdimensionnés et sous exploités pour des raisons diverses. Le programme d'investissement à court et moyen termes, dans la conjoncture actuelle, est de rentabiliser l'infrastructure aéroportuaire actuelle et de procéder à sa réhabilitation. Le souci majeur reste les problèmes de diagnostic et d'entretien.

- Le programme d'investissements à mettre en œuvre en attendant les résultats de l'étude globale portant plan directeur de l'aviation civile doit permettre d'atteindre cet objectif.
- Le programme du gouvernement précise dans le domaine des infrastructures aéroportuaires son engagement dans les actions prioritaires désenclavement du sud algérien.

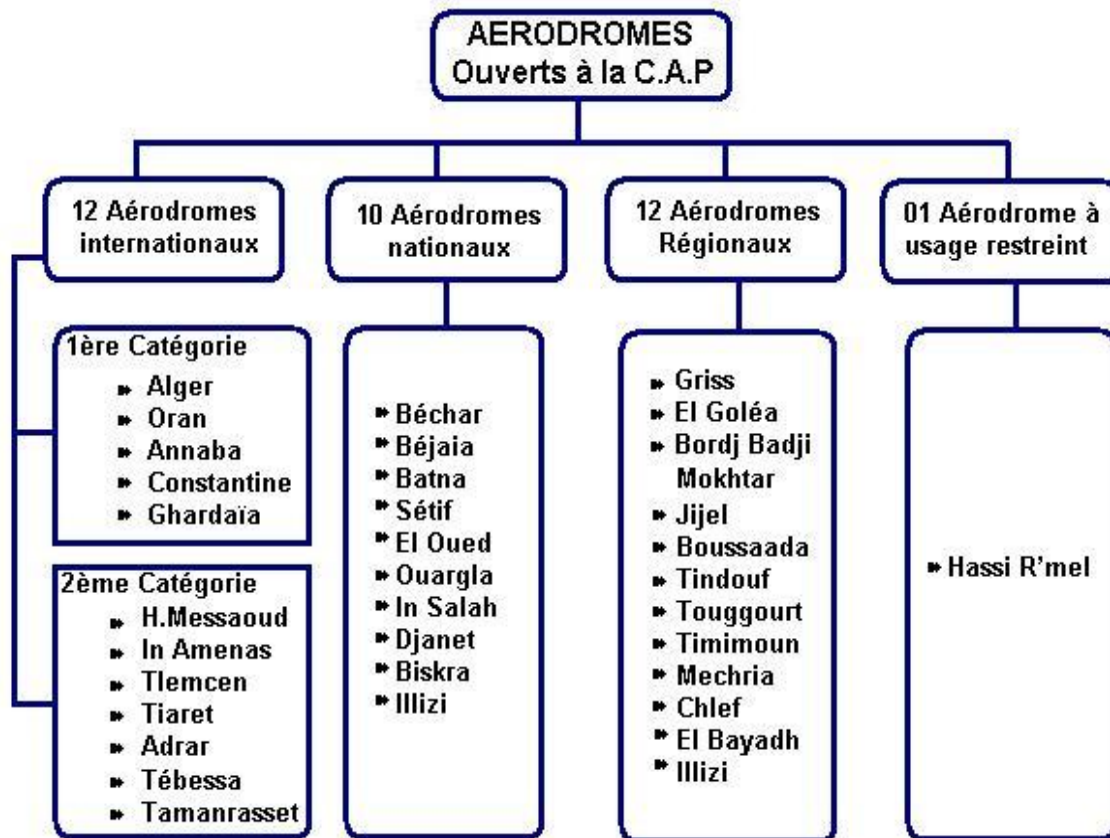


Figure 1.1 : PATRIMOINE AEROPORTUAIRE ALGERIEN

1.2 Présentation du sujet

La principale pathologie relevée dans l'ensemble des ouvrages aéroportiers algériens et en particulier ceux du sud sont les dégradations dues soit au climat, soit aux charges excessives ou soit à la structure et/ou au sol support.

Le relevé des dégradations de surface et son interprétation associée à la méthode dite Indice de Service de l'Instruction Technique sur les Aérodrômes Civils est la première démarche d'investigation qu'un gestionnaire d'aéroport doit assurer pour apprécier le niveau de dégradation des pistes qu'il a à gérer dans le souci de la sécurité des vols et la gestion du patrimoine que constituent les chaussées aéronautiques.

La dégradation de surface constitue, dans la plupart des cas, un des premiers indicateurs de l'évolution des caractéristiques structurelles et superficielles des chaussées.

Le relevé de dégradations doit être assimilé à une mesure et à ce titre, s'intégrer dans une procédure qui définit clairement les conditions de réalisation de ce relevé, son exploitation et son interprétation.

Pour une telle procédure, il est nécessaire :

- d'homogénéiser les relevés de dégradations en les adaptant aux structures des chaussées (souple, rigide),
- de normaliser la définition des dégradations et leur mesure.

Au-delà de ses fonctions de répertoire des dégradations, ce sujet doit constituer un outil permettant :

- d'aider à définir et à améliorer la méthode de travail au niveau des relevés et de leur interprétation,
- de réduire les dispersions dans les relevés en limitant dans la mesure du possible leur caractère subjectif,
- des orientations d'entretien non exhaustives seront également proposées pour les chaussées souples afin d'évaluer les types et délais d'intervention.

Ce nouveau travail constitue la mise à jour du document de décembre 1984 émis par le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) et répond ainsi en partie aux attentes des utilisateurs de la méthode en la complétant et l'actualisant, et en précisant la mesure géométrique à effectuer pour chaque dégradation.

L'efficacité de toute opération de réparation est conditionnée impérativement par le type de diagnostic, l'analyse la plus précise des dégradations relevées, les méthodes d'entretien et surtout la nature et la qualité des matériaux qui seront mis en œuvre.

Les opérations d'entretien se basent sur les quatre questions suivantes :

- Que devons-nous entretenir?
- Comment peut-on entretenir?
- Qui doit exécuter les travaux ?
- Combien cela va-t-il coûter ?

Dans le cas de l'entretien routier, il existe des guides conduisant à fixer des normes d'entretien, se sont ces normes d'entretien qui, finalement, vont permettre de quantifier les problèmes et de programmer les interventions. Ce guide est complété par un manuel d'entretien routier à l'usage des agents d'exécution des diverses opérations. Ce manuel présente surtout les diverses dégradations et le détail tâche que l'on est susceptible d'entreprendre pour les réparer.

Dans le cas des chaussées aéronautiques, le problème est plutôt complexe, actuellement des recherches sont menées au niveau des équipements, au niveau du matériel et des matériaux à utiliser, et surtout des méthodes à développer afin de préciser une ligne de conduite générale pour l'étude et la programmation des travaux d'entretien des chaussées aéronautiques. Les problèmes à résoudre sont nombreux et difficiles à les cerner tous à la fois. La chaussée aéronautique est un ouvrage hétérogène soumis à des contraintes nombreuses et agressives.

Notre étude porte sur le cas des aéroports d'Adrar, de Béchar, de Timimoun, et de Tindouf.

1.3 Objet du mémoire

L'objectif est d'analyser le comportement des chaussées sous l'action du trafic et des charges climatiques, à court terme et à long terme, afin de comprendre la réglementation en vigueur, et de disposer ainsi d'un éclairage conduisant à la recherche de nouveaux matériaux, au dimensionnement et à l'entretien des chaussées en dehors de l'aspect strictement réglementaire. Les concepts développés pour le trafic routier sont ensuite étendus à la voirie de support de trafic ferroviaire (voies ferrées) et aérien (chaussées rigides des pistes d'aéroports).

Le présent mémoire a pour objet l'étude de cas pathologique d'infrastructure aéronautique au sud ouest de l'Algérie, les dégradations se trouvant dans les pistes principales, les aires de circulation et les aires de stationnement. Les sites concernés sont conçus en zone désertique en sud algérien en particulier les cas pathologique de :

- l'aérodrome Adrar,
- l'aérodrome Bechar,
- l'aérodrome Timimoun,
- l'aérodrome Tindouf.

Et l'impact économique sur la prise en compte lors du diagnostic de la spécificité des zones désertiques afin de prendre en compte et de ne pas omettre lors de la conception des ouvrages d'infrastructures aéroportuaires les conditions climatologique les plus influentes sur la prévention de ces comportements.

L'objet de ce mémoire est de donner une méthodologie de relevé, de suivi des dégradations et aussi de proposer des méthodes d'entretien dans le cas des pistes des aérodromes du sud ouest algérien. Tout en sachant que suivre le comportement nécessite de disposer de puissant moyen d'auscultation, d'analyse et d'interprétation. Pour l'instant, des nombreuses inconnues demeurent, et c'est encore l'expérience des hommes qui reste le meilleur support de réflexion.

Chapitre II : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

2.1 Introduction

2.2 Les chaussées aéronautiques

2.2.1 Description matérielle d'une chaussée

2.2.2 Constitution et rôle d'une chaussée

2.3 Les facteurs influents sur les dégradations

2.3.1 Le climat

2.3.2 Le sol support

2.3.3 Les charges

2.3.4 Les matériaux

2.3.5 La fabrication et la mise en œuvre

2.4 Type de pathologie

2.4.1 Les dégradations des chaussées souples

2.4.2 Les dégradations des chaussées rigides

2.5 La méthode PCI (pavement condition index) ou indices de service (IS)

2.5.1 Principe de la méthode PCI

2.5.2 Méthode de calcul du PCI

2.5.3 Indices de service

2.6 Conclusion

2.1 Introduction

Les structures routières, en général, sont composées de matériaux dont la nature et les propriétés des matériaux constitutants varient fortement (graves non traitées, béton bitumineux, graves traitées aux liants hydrauliques...). Toutes ces structures ont en commun des problèmes de fissuration d'origines diverses et dont les formes diffèrent d'autant. Le trafic ou les causes environnementales sont à l'origine des problèmes, mais la nature de ces derniers va varier en fonction de la structure. Le contrôle de la fissuration au travers de la couche de roulement est donc une tâche qui s'avère difficile du fait de la diversité des phénomènes. Il apparaît donc important de diagnostiquer la nature et la cause des fissures afin de lutter efficacement contre la remontée de fissure.

L'évaluation des chaussées aéronautiques doit s'intéresser à la fois à leurs caractéristiques structurelles et à leurs caractéristiques fonctionnelles.

En matière de **sécurité**, la couche de roulement doit posséder de bonnes propriétés anti-dérapantes, la couche de roulement est caractérisée par une bonne **rugosité**. La rugosité s'apprécie par la hauteur de sable (HS).

En matière de **confort**, elle doit présenter un bon **uni**, afin que l'utilisateur ne ressente pas de secousses brutales ou de vibrations excessives. Notons que le mauvais uni peut entraîner une perte d'adhérence. Enfin, la couche de roulement – qui subit directement les agressions du trafic et celles liées aux conditions climatiques – doit faire obstacle à la pénétration d'eau dans les assises de chaussées.

Le transport aérien joue un rôle important dans le système de transport algérien et ce, en raison de l'étendue du pays et de la répartition géographique de la population : 70% concentrée sur une bande côtière, 20% au niveau des Hauts Plateaux et 10% dans les régions du sud.

La configuration des flux de transport en Algérie reflète le caractère prédominant des trafics d'importation qui s'articulent autour des grandes villes côtières. Pour le transport aérien, les flux de trafic sont essentiellement établis sur l'axe Algérie-Europe et sur trois axes domestiques : nord-nord, nord-sud et sud-sud.

Cette partie d'introduction a pour objet de fournir un aperçu sur les structures organisationnelles, les procédures opérationnelles, les caractéristiques des infrastructures

existantes, le trafic et les investissements en matière d'aéroports, de services aéroportuaires et de transport aérien.

2.2 Les chaussées aéronautiques

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

2.2.1 Description matérielle d'une chaussée

La structure d'une chaussée est constituée généralement de trois groupes de couches, superposées du haut vers le bas : la couche de surface, les couches d'assise et la plate-forme support. La couche de surface est constituée d'une couche de roulement en béton bitumineux qui subit directement les actions agressives dues au trafic et au climat. Elle peut éventuellement avoir en sa partie inférieure une couche de liaison qui assure l'adhérence entre la couche de roulement et la couche de base. L'assise de la chaussée est composée généralement d'une couche de base et d'une couche de fondation. La plate-forme support est constituée du sol naturel terrassé (sol support) et d'une couche de forme. Cette dernière est une transition entre le corps de la chaussée et le sol support (Habiballah 2005).

2.2.2 Constitution et rôle d'une chaussée

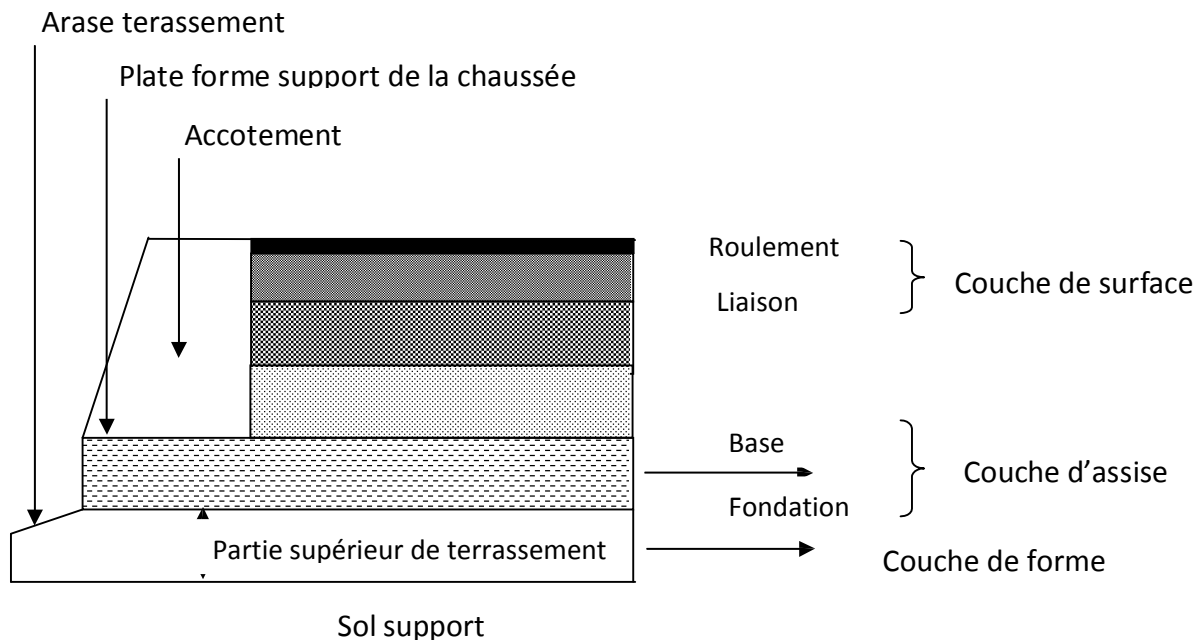


Figure2.1 : Corps de chaussée type

2.2.3 Différents types de chaussées

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

a) Chaussées souples

On appelle chaussées souples, les chaussées constituées principalement de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches de matériaux non traités. Le dimensionnement de ce type de chaussées est basé sur l'hypothèse que l'endommagement de la chaussée proviendrait de la rupture du sol support.

b) Rigides

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

La nature du béton hydraulique fait que la rigidité des dalles qui constituent la partie supérieure de la chaussée protège le sol support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce en premier lieu dans la dalle par excès de contraintes (HIMOURI S., 2006).

2.3 Les facteurs influents sur les dégradations

2.3.1 Le climat

les contraintes thermiques ne sont pas assez élevées pour générer de la fissuration, mais il est concevable d'imaginer que les variations journalières de température peuvent créer des variations de contraintes qui vont engendrer de la fatigue. Les tests de fatigue à petits nombres de cycles, montrent qu'il existe deux phases dans la compréhension du phénomène :

- Propriétés rhéologiques des mélanges
- Résistance en fatigue

La résistance en fatigue du mélange est fonction de la teneur en liant (si on augmente la teneur en liant alors la résistance en fatigue évolue dans le même sens). L'âge a également une grande influence, plus le matériau est âgé et plus sa résistance en fatigue s'en trouve diminuée. Les premières hypothèses de fatigue thermiques sont apparues dans les années 70 (Selon Gerritsen et Jongennel).

Les fluctuations journalières et saisonnières, en tous points de la structure, sont donc non négligeables ; il apparaît nécessaire de prendre en compte ces effets au niveau du dimensionnement. Mais le nombre de paramètres qui influence la température interne de l'ouvrage et sa répartition reste élevé ; certains paramètres sont accessibles par les données météorologiques et d'autres sont plus flous et difficiles à apprécier.

Dans des climats rudes (ou avec de fortes amplitudes thermiques journalières), une chute brutale de la température peut suffire à engendrer dans l'enrobé des contraintes thermiques dépassant la limite de rupture de ce dernier et ainsi provoquer une fissuration.

Dans les climats dits "plus modérés" de tels phénomènes ne sont pas courants et nombres d'auteurs avancent l'hypothèse de l'existence d'un phénomène de fatigue thermique.

L'influence de la température sur les matériaux bitumineux reste un domaine qui est encore beaucoup discuté (Behr et Trouillet).

La présence d'eau en grande quantité et le cycle gel-dégel et quand ce phénomène apparaît-il entraîne une diminution des résistances mécaniques ce qui accélère la destruction de la structure. Les eaux de pluie peuvent diminuer la durée de vie souhaitée d'une chaussée. L'infiltration des eaux de pluie augmente la teneur en eau du sol support,

ce qui entraîne la chute de sa portance. Ces défauts endommagent l'uni des chaussées et la portance de leurs couches. Pour la région sud les précipitations sont faibles, par contre on rencontre les pluies saisonnières qu'il faut prendre en considération.

Un problème d'environnement typique de la zone désertique est celui posé par le sable. En effet, les vents de sable érodent la couche de roulement.

2.3.2 Le sol support

La nature de sol support intervient dans la dégradation des chaussées aéronautiques, Les mouvements ou une perte de portance locale du sol sur lequel la structure repose, peuvent aussi mener à une fissuration, qui va se propager dans les différentes couches de la structure. Les mouvements du sol impliquent ici différents phénomènes : perte de portance due à une augmentation de la teneur en eau du sol mal drainé, mauvais compactage de la plate-forme, glissement de terrain (spécialement près des routes où le profil n'est pas naturel), retrait dû à une importante perte d'eau suite à une saison sèche, gel qui atteint le sol support...

Les structures des chaussées reposent sur un ensemble dénommé « plate – forme support de chaussée » constitué du sol naturel terrassé, éventuellement traité, surmonté en cas de besoin d'une couche de forme.

Les plates formes sont définies à partir :

De la nature et de l'état du sol ;

De la nature et de l'épaisseur de la couche de forme.

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

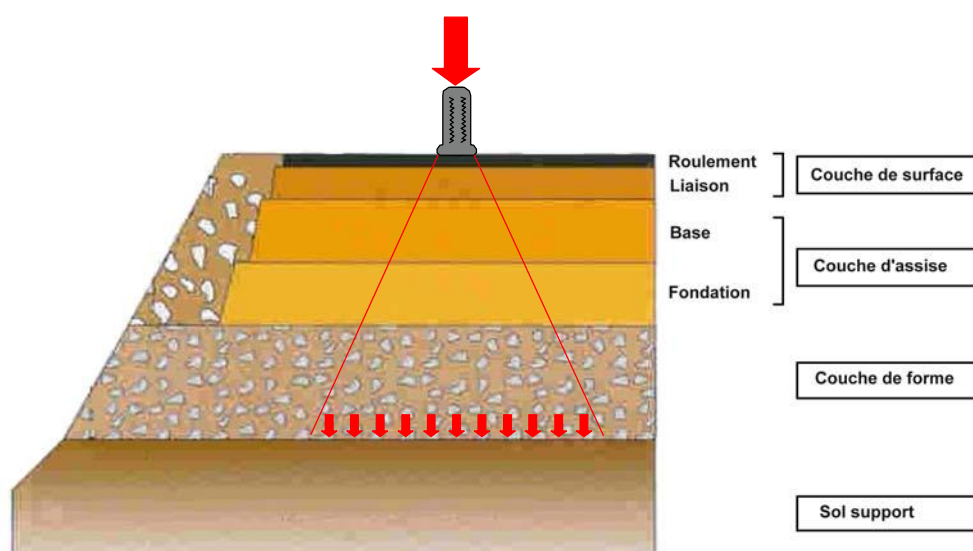


Figure 2.1. Répartition des contraintes dans une structure de chaussée (Laveissiere, 2002)

2.3.3 Les charges

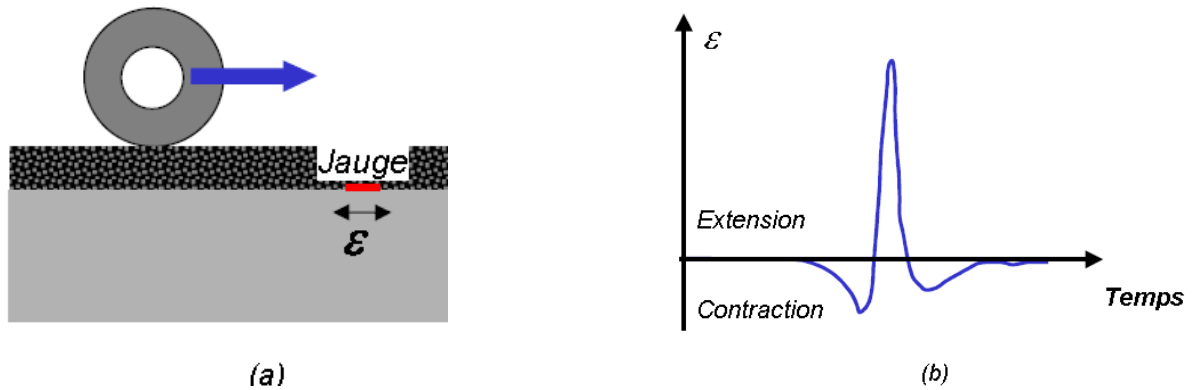
Les chaussées noires, ou souples, sont soumises à la fissuration par fatigue de la couche de base, avec une propagation de la fissure dans la couche de roulement sous l'action du trafic. Sous le passage de la charge roulante, ces fissures se développent en maillage large. Dans les pays aux climats hivernaux rigoureux (ou des pays avec de fortes amplitudes thermiques), il se peut que la chute de température crée des contraintes de traction supérieures à la limite de résistance du béton bitumineux, d'où l'apparition de fissures en surface. Ce phénomène est d'autant plus probable que le bitume utilisé est dur ou bien sensible au vieillissement.

Les matériaux bitumineux sont employés principalement dans les couches de surface et d'assises. Ils subissent l'action conjuguée du trafic routier (agression mécanique) et du climat (température, gel).

A chaque passage d'essieu de véhicule lourd, les enrobés bitumineux sont soumis à des sollicitations de courte durée. Ainsi, la chaussée, qui se comporte comme un matériau rigide, reposant sur un support déformable, est soumise à des efforts de flexion. Des contraintes de traction apparaissent alors à la base de la chaussée et sont répétées à chaque passage de roues. Ces charges ne provoquent pas la rupture immédiate, mais leur répétition peut engendrer à terme de la fissuration par fatigue.

Les approches pour expliquer la fatigue des enrobés bitumineux sont variées du fait de la complexité du comportement de ces matériaux ; les études existantes sont fortement influencées par un nombre conséquent de paramètres liés au matériau.

Le passage d'une charge roulante engendre des contraintes normales et de cisaillement dans toutes les directions des couches de la chaussée. Les couches bitumineuses, d'une structure non fissurée, subissent essentiellement le phénomène de fatigue causé par les cycles de traction/compression dans la direction parallèle à l'axe de roulement. La figure montre la déformation longitudinale à la base de la couche d'assise au passage d'une roue.



Déformation longitudinale à la base d'une couche de chaussée – (a) Schéma du passage de la charge roulante et point de mesure – (b) Déformation longitudinale résultante

Figure 2.2 : Déformation sous charge

A l'approche de la charge, le point de mesure est soumis à une contraction puis à une extension quand la charge est suffisamment proche. De plus, les phases d'extension et de contraction sont asymétriques et ceci est d'autant plus vrai que la température est élevée. C'est la répétition de ces sollicitations, à chaque passage de roue, qui est à l'origine de la fatigue à la base des couches, dans le sens longitudinal

L'agression mécanique des charges roulantes provoque des écrasements et des flexions dans la structure de chaussée. Leur répétition est à l'origine de phénomènes :

- d'orniérage (causé par les compressions successives des matériaux bitumineux, mais aussi par les déformations des couches non liées éventuelles),
- de fatigue par l'accumulation de micro-dégradations créées par les tractions transversales répétées qui peuvent entraîner la ruine du matériau,
- de fissuration qui peuvent apparaître et se propager dans la chaussée.

Dans un cas moins général, avant fissuration de la couche de base dans les structures semi-rigides, le béton bitumineux de la couche de roulement travaille en compression par flexion du fait de la grande rigidité des couches traitées aux liants hydrauliques.

Dès lors que la couche de base en grave traitée aux liants hydrauliques est fissurée, des sollicitations de cisaillement à la base de la couche en matériau bitumineux apparaissent. Le rapport des modules entre la grave traitée et le béton bitumineux (rapport variant en fonction de la température mais à 15 °C et 10 Hz, il est de l'ordre de 5), ce cisaillement devient la sollicitation dominante pour ce type de structures (Uge, Gravois et Lemaire, 1976).

2.3.4 Les matériaux

Le critère nature des matériaux est essentiel et ne devra, en aucun cas être négligé, car sa négligence entraîne une détérioration accélérée des différentes couches et des problèmes insurmontables de dégradation de la couche de surface.

Les défauts observés sur les matériaux sont en générale :

- ✓ La granularité incorrecte ;
- ✓ Une dureté insuffisante, surtout pour les granulats ;
- ✓ Une propreté insuffisante des granulats ;
- ✓ La mauvaise forme géométrique des granulats ;
- ✓ Matériaux naturels trop argileux.

2.3.5 La fabrication et la mise en œuvre

En ce qui concerne la fabrication ou la mise en œuvre on peut citer les défauts suivants :

- ✓ La ségrégation des graves concassés ;
- ✓ Les dosages non respectés ;
- ✓ Le mauvais enrobage ;
- ✓ Le compactage insuffisant ;
- ✓ Les températures de mise en œuvre trop basses ;

Epannage de liant irréguliers (MAYORAZ, 2002).

2.4 Type de pathologie

2.4.1 Les dégradations des chaussées souples

Les dégradations touchent aussi bien les chaussées souple que les chaussée rigides. Dans une chaussée souple nous pouvons distinguer quatre principaux groupes de désordres :

- les fissurations,
- les arrachements,
- les déformations,
- autres dégradations.

De manière à uniformiser les appellations, nous présentons une liste, qui ne serait être exhaustive, des principales dégradations des chaussées souples avec leurs dénominations habituelles et une définition pour chacune suivant le catalogue des dégradations établi par la STAC (STAC, 2006).

a- Les fissurations

Les principaux types de fissure sont :

- Fissures de fatigue ou retrait : fissures longitudinales apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs. Elles sont souvent accompagnées de fissures transversales à l'intervalle aléatoire et d'une dépression.
- Faiçonnage de fatigue ou retrait : cassure en mailles du revêtement, les mailles ayant la forme de polygones dont la plus grande diagonale ne dépasse pas 60 cm.
- Fissuration des joints : fissures situées sur un joint.
- Fissures paraboliques : fissures groupées en forme de croissant concernant la couche de roulement. Ils peuvent être accompagnés de bourrelets.

Une dégradation est classée parmi les fissures c'est l'épaufrure.

Epaufrure : cassure du revêtement en bord de chaussée.

b- Les arrachements

- Pelade : c'est le décollement de la couche de roulement par plaques plus ou moins grandes.
- Nids de poule : cavité à la surface de la chaussée due à des départs de matériaux.
- Désenrobage / brûlures : séparation du mastic (liant + fines) et des granulats avec un éventuel départ de ces derniers.

- Plumage : arrachement d'une partie des gravillons du revêtement, dû parfois à un mauvais épandage du liant. Dans ce cas, les gravillons s'arrachent suivant des lignes parallèles à l'axe de la chaussée (peignage).

c- Les déformations

- Bourrelet : renflement de la structure dans le profil en long, profil en travers, ou en un point localisé.
- Flache : dépression localisée sur la surface de la chaussée, généralement de forme elliptique ou arrondie.
- Glaçage : usure du revêtement qui le rend lisse et glissant.
- Ornière/frayée : dépression longitudinale de faible rayon transversal apparaissant dans les traces des atterrisseurs et éventuellement accompagnée d'un fluage des enrobés se matérialisant par un bourrelet en bordures de la déformation.
- Déformation « W » : dépression longitudinale de grand rayon transversal, située de part et d'autre de l'axe de voie de circulation dans le passage des atterrisseurs principaux des avions, et dont les largeurs varient entre 5 et 7m.
- Affaissement : c'est la variation de niveau du profil.

d- Autres dégradations

- Boursoufflure saline ou champignon : rencontré en climat désertique, c'est le renflement et le soulèvement de la couche de roulement suite à la cristallisation du sel (halite) sous forme de cristaux fibreux (trichites) entre la couche de base et la couche de roulement.
- Décollement : rupture de l'adhésion entre revêtement et corps de chaussée.
- Remontée d'eau : zone humide à la surface du revêtement.
- Tôle ondulée : ondulations perpendiculaires à l'axe de la chaussée, fréquentes au sud.
- Dépôt de gomme : dépôt de caoutchouc localisé dans la zone de toucher des roues.
- Empreinte/poinçonnement : enfoncement localisé du revêtement. Ce défaut s'observe généralement dans les aires de stationnements.
- Contamination/souillure : pénétration dans l'enrobé de produits chimiques (hydrocarbures, huiles...).

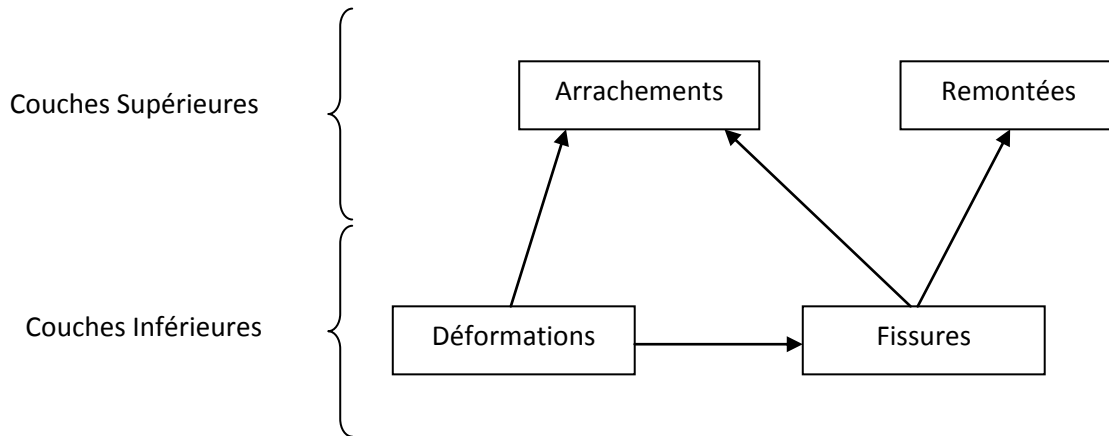


Figure 2.3 : Schéma présentatif des principales dégradations

(Source : LTPS unité Ghardaia, 2004)

2.4.2 Les dégradations des chaussées rigides

a- Fissure longitudinale, transversale, oblique

Nous distinguons dans le cas des fissures longitudinales, transversales et obliques cinq grands types de problèmes liés à ces fissures :

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.
- Perte de portance.
- Altération de l'uni.
- Départ de matériaux.
- Fracture.

b- Fissure de coin/ Cassure d'angle

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.
- Altération de l'uni et affaissement localisé.
- Départ de matériaux.

c- Fracture

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.
- Altération de l'uni et affaissement.
- Départ de matériaux.

d- Pompage

- Formation de cavité dans la couche de fondation.
- Chute de portance.
- Altération d'adhérence.
- Mise en marche d'escalier.

e- Décalage / Marche

- Altération de l'uni.
- Altération d'adhérence.

f- Epaufrure

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.
- Altération de l'uni.
- Départ de matériaux.

i- Faïençage/ Ecaillage

- Altération de l'uni.
- Départ de matériaux.

j- Défaut de joint

- Infiltration d'eau dans le corps de chaussée.
- Accumulation de cailloux, de terre ou de végétation.
- Risque d'épaufrures.

k- Dépôt de gomme

- Altération de l'adhérence.

2.5 La méthode PCI (pavement condition index) ou indices de service (IS)

La méthode indice de service (IS) est basée sur l'analyse de relevés visuels de différents indicateurs d'état permettant d'apprécier le niveau de qualité d'une chaussée.

Cette méthode constitue l'outil de référence pour la majorité des aérodromes français. De mise en œuvre rapide, peu onéreuse, peu pénalisante pour la circulation aérienne, elle fournit une masse importante d'informations sur l'état des chaussées et son évolution dans le temps. Elle constitue en cela une aide à la décision précieuse en matière d'entretien, de réfection, d'auscultation lourde et d'adéquation de la portance déclarée à la capacité réelle de la chaussée (ITAC, 1999).

Cette méthode permet d'aboutir à la définition de l'IS qui 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.

2.5.1 Principe de la méthode PCI

Le relevé de dégradation :

Le relevé visuel consiste à partager les aires de mouvements de l'aérodrome en mailles de même surface de 500 m².

La procédure utilisée consiste à enregistrer, maille par maille, les dégradations observées conformément aux recommandations du catalogue de dégradations STBA, chaque dégradation est répertoriée à l'aide du triplet d'information suivant :

- le type de la dégradation : selon les types cités auparavant,
- le niveau de gravité : Léger (L), Moyen (M) ou élevé (E),
- la densité de dégradation dans la maille considérée, celle-ci est mesurée par une surface caractéristique de chaque type de dégradation.

Le catalogue de dégradations permet de faire la distinction de celles provenant de la surface ou de la structure comme le montre le tableau 2.1 ci dessous.

Tableau 2.1 : Type de dégradation par type de chaussée

Type de la chaussée	Dégradations révélant un défaut de structure	Dégradations révélant un défaut de surface
Chaussée souple	<ul style="list-style-type: none"> -Flache -Ornière -fissure de fatigue -Faïençage de fatigue -Déformation en W -Gonflement -Tassement différentiel -Remontée d'eau -Remontée de fines 	<ul style="list-style-type: none"> -Désenrobage - Brûlure -Enrobé poreux -Fissure de joint -Fissure de retrait -Faïençage de retrait -Réparation dégradée -Contamination -Dépôt de gomme -Poinçonnement -Fissure parabolique -Nid de poule -Pelade
Chaussée rigide	<ul style="list-style-type: none"> -Fissure -Fracture -Fissure de coin -Pompagement -Décalage Marche 	<ul style="list-style-type: none"> -Epaufrement -Faïençage –écaillage -Réparation ponctuelle dégradée -Défaut de joint -Dépôt de gomme

Source : ITAC chapitre 7, 1999.

L'exploitation se fait de la manière suivante :

- numérisation de chaque triplet : il s'agit, à l'aide d'un abaque (cf. figure ci-contre) propre à chaque dégradation, de donner une valeur numérique traduisant l'influence de cette dégradation sur les qualités de cette chaussée,
- détermination d'un indice de maille : pour chaque maille, on additionne les valeurs précédentes et à l'aide d'un second abaque, attaché au type de chaussée considéré, on en déduit l'indice de maille,
- indice de service de la section : l'IS de la section sera la moyenne arithmétique des indices de mailles pour l'ensemble des mailles constituant la section examinée.

Dans cette démarche on peut considérer l'ensemble des défauts ; on détermine ainsi l'IS global. Il est également possible d'affiner l'analyse en distinguant défauts de surface et défauts structurel et par la même démarche on détermine :

- l'IS superficiel
- l'IS structurel

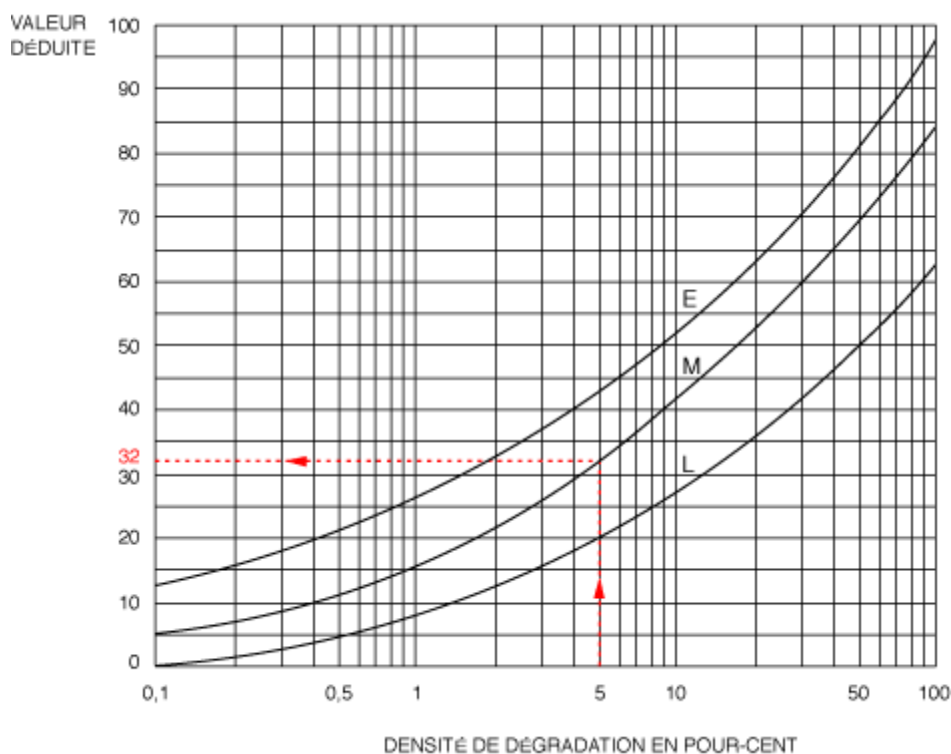


Figure 2.4 : Abaque d'indice de surface IS

(Source : ITAC chapitre 7, 1999)

Cette méthode et les abaques associés sont le fruit d'un travail entamé aux USA d'abord puis poursuivi par le STAC afin de rapprocher au mieux l'état de dégradations d'une chaussée et les observations de surface.

Afin d'assister les exploitants dans les déterminations des IS, le STAC a mis au point un outil informatique (IS_V2) permettant une automatisation des traitements associés à la démarche précédemment décrite.

Le logiciel IS_V2 est destiné à être implanté localement sur un micro-ordinateur de type PC sous environnement Windows.

Il est diffusé gratuitement et peut être obtenu en transmettant au STAC une convention d'utilisation.

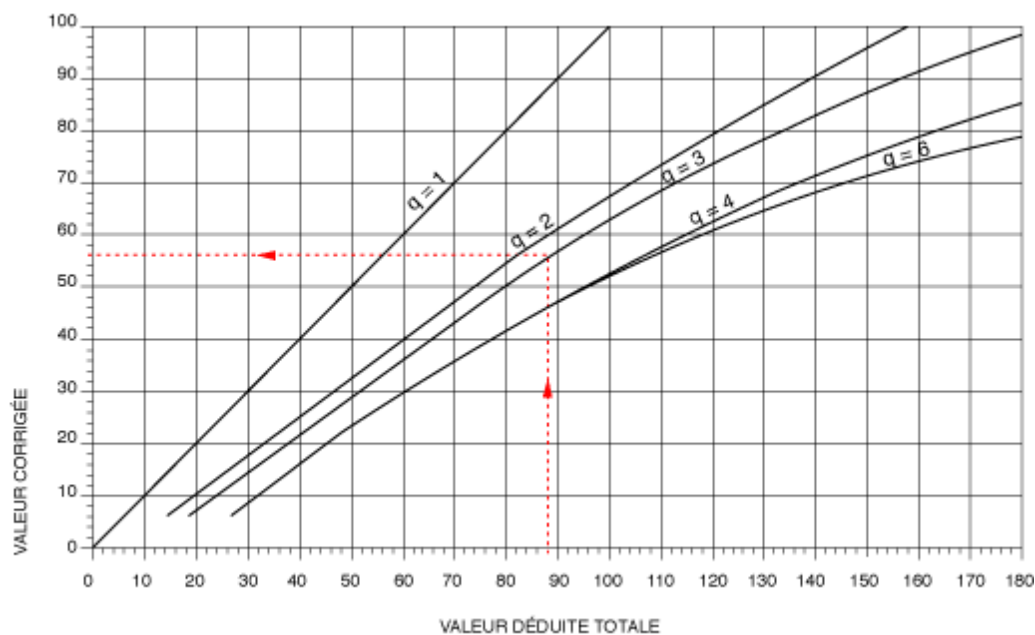


Figure 2.4 : Abaque de niveau de service

(Source : ITAC chapitre 7, 1999)

Une cartographie d'un aéroport sur laquelle on reporte les valeurs d'IS par section permet de déterminer des zones homogènes pour lesquelles le niveau de service peut être apprécié rapidement.

L'analyse de l'évolution des indices de services dans le temps (il est recommandé d'effectuer annuellement les relevés nécessaires à la détermination des IS) permet une programmation pluriannuelle des travaux d'entretien voire de réparation.

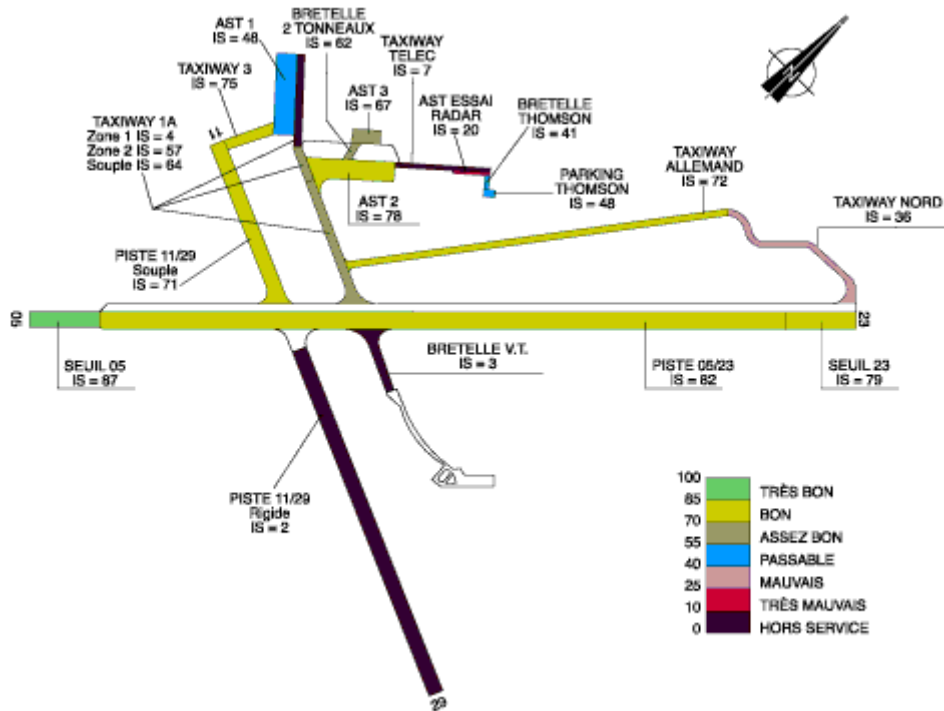


Figure 2.5 : Exemple de zonage de comportements homogènes des chaussées d'un aéroport

Une analyse détaillée des IS de chaque maille permet également d'apprécier l'homogénéité structurelle d'une zone fonctionnelle.

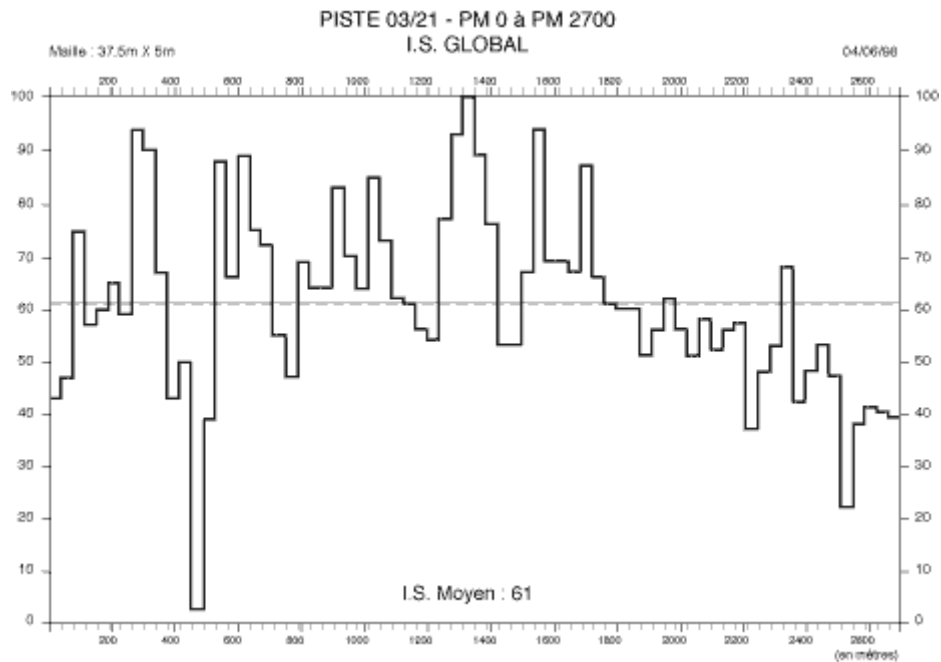


Figure 2.7 : Exemple d'histogramme de l'état d'une piste

2.5.2 Méthode de calcul du PCI

- Découpage de la section caractéristique en maille de 500 m².
- Faire le relevé visuel des dégradations sur chaque maille.
- Déterminer une valeur numérique significative déduite (VD) de l'influence de cette dégradation sur les qualités de la chaussée tirée à l'aide d'un abaque propre au type de dégradation.
- Une valeur déduite totale (VDT) est déterminée par une maille par sommation des valeurs déduites pour chaque dégradation.
- La VDT est corrigée au moyen d'un deuxième abaque qui tient compte du nombre et du type de dégradation significative (dont les valeurs déduites sont supérieures à 5).
- L'indice de service de chaque maille est égal au complément à 100 de la valeur déduite corrigée de la maille:

$$IS = 100 - VDC$$

L'indice de service de la section est la moyenne des indices de service de chacune des mailles composantes.

➤ IS Global:

Indice calculé à partir du traitement de l'ensemble des dégradations rencontrées sur la chaussée qui donne son état global.

➤ IS Structurel :

Indice de service calculé à partir du traitement des dégradations des structures rencontrées sur la chaussée permettant d'apprécier l'état de la chaussée révélant un défaut de portance.

➤ IS superficiel :

Indice de service calculé à partir des dégradations des surfaces rencontrées sur la chaussée permettant d'apprécier l'état superficiel de la chaussée.

L'expérience montre que chaque indicateur d'état peut être relié à un ou plusieurs types de dégradations, comme il est démontré dans le schéma ci-dessous

Schéma

Chaussée souple

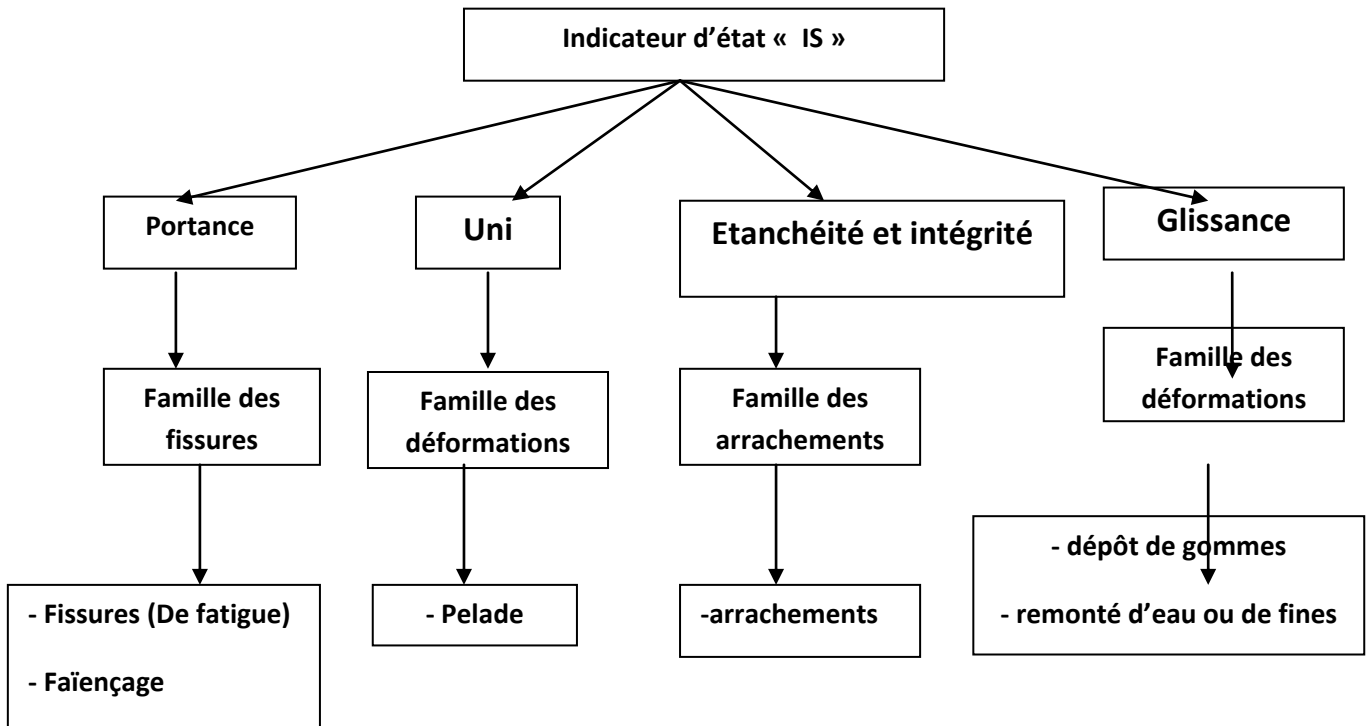


Figure 2.7 : Schéma de l'état IS

L'indice de service est un indicateur numérique qui peut prendre des valeurs comprises entre 0 (chaussée hors service) et 100 (chaussée neuve).

2.5.3 Indices de service

Le tableau suivant nous montre l'état de la chaussée pour chaque fourchette d'indices de service :

Tableau 2.2 : Indice de Service IS

Indice de service en %	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

Interprétation des résultats

Pour qualifier l'état de la chaussée, et afin de justifier le renforcement ou non de l'aérodrome, il est indispensable de passer par l'organigramme suivant, qui est considéré comme un principe général du système de gestion :

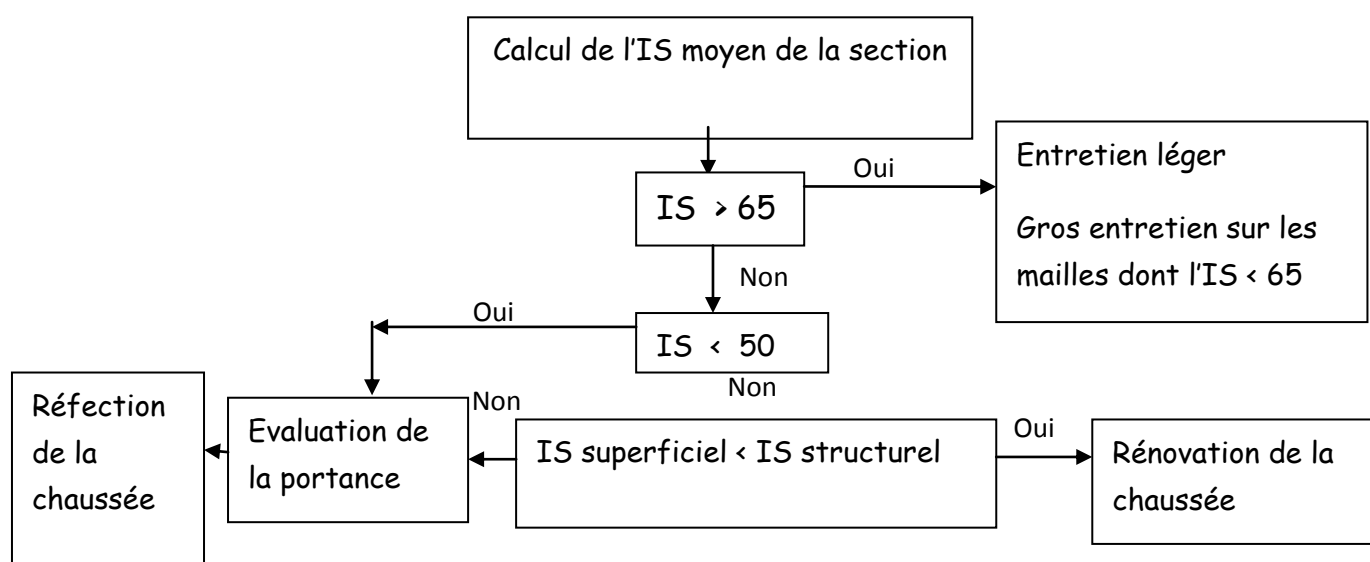


Figure 2.8 : schéma d'un calcul IS d'une section

A cause de la courte durée de notre stage et la difficulté à pouvoir accéder au site pour une longue durée, le calcul de l'IS nous a été impossible, mais nous avons constaté lors de notre visite que l'état de l'aérodrome nécessite un renforcement immédiat.

2.6 Conclusion

La détérioration des chaussées se résulte principalement d'une accumulation de déformation consécutive, à une portance insuffisante de la structure, l'amplitude et l'extension des déformations est un élément capital d'appréciation de l'état d'endommagement de la structure. Par ailleurs, l'extension de la fissuration détermine la zone touchée, par suite, le volume des travaux à entreprendre.

Le catalogue des dégradations permet de faire la distinction des dégradations de celles provenant de la surface et de la structure.

La méthode indice de service (IS) est basée sur l'analyse de relevés visuels de différents indicateurs d'état permettant d'apprécier le niveau de qualité d'une chaussée.

Elle constitue en cela une aide à la décision précieuse en matière d'entretien, de réparation, d'auscultation lourde et d'adéquation de la portance déclarée à la capacité réelle de la chaussée.

Les différents matériaux constitutifs des diverses couches d'une chaussée doivent présenter des caractéristiques mécaniques leur permet de résister aux différentes sollicitations que subit la chaussée durant sa vie de service. Le principal mode de dégradation des chaussées souples est l'orniérage, celui-ci est dû principalement aux cumules des déformations plastiques sous les actions répétées du trafic.

Le relevé de dégradations doit être assimilé à une mesure et à ce titre, s'intégrer dans une procédure qui définit clairement les conditions de réalisation de ce relevé, son exploitation et son interprétation. Pour une telle procédure, il est nécessaire d'homogénéiser les relevés de dégradations en les adaptant aux structures des chaussées souples et rigides, de normaliser la définition des dégradations et leur mesure.

Au-delà de ses fonctions de répertoire des dégradations, ce sujet doit constituer un outil permettant d'aider à définir et à améliorer la méthode de travail au niveau des relevés et de leur interprétation, de réduire les dispersions dans les relevés en limitant dans la mesure du possible leur caractère subjectif, des orientations d'entretien non exhaustives seront également proposées pour les chaussées souples afin d'évaluer les types et délais d'intervention.

Chapitre 3 : Etude de cas

3.1 Introduction

3.2 Données climatologiques

3.3 Aperçu géologique

3.4 Présentation des aérodromes

3.4.1 Aéroport d'Adrar

3.4.2 Aéroport de Bechar

3.4.3 Aéroport de Timimoun

3.4.4 Aéroport de Tindouf

3.5 Analyse géotechnique

3.5.1 Aéroport d'Adrar

3.5.2 Aéroport de Bechar

3.5.3 Aéroport de Timimoun

3.5.4 Aéroport de Tindouf

3.6 Dimensionnement

3.6.1 Dimensions des constituants de l'aéroport d'Adrar

3.6.2 Aéroport de Tindouf

3.6 Conclusion

3.1 Introduction

En effet, l'Algérie se trouve aujourd'hui confrontée à la difficile adéquation entre une population en croissance rapide et sa répartition spatiale d'une part, et l'emploi judicieux de ses ressources financières, d'autre part.

Aux problèmes posés par l'importance du croît démographique, viennent s'ajouter ceux dûs à son inégale répartition : 65 % des habitants de l'Algérie sont concentrés au Nord, sur 4 % du territoire national, là où se trouve l'essentiel du potentiel agricole (70 % des terres agricoles de valeur) et hydraulique. Les régions Hauts plateaux, abritent quand à elles 25 % de la population du pays sur 9 % de la superficie nationale et le Sud 10% répartis sur 87 % de l'ensemble du territoire.

Le Sahara algérien est un territoire très vaste, il constitue la plus grande partie de la superficie de l'Algérie. Le ravitaillement d'une population extrêmement dispersée et les liaisons administratives entre les centres urbains ont amené l'Algérie à la création d'un réseau routier en grande partie sous forme de pistes au début sommairement aménagés qui suffisait tout juste à un trafic léger se heurtant souvent à des sérieux obstacles constitués par les grandes étendues de sables éoliens.

De même réseau routier dans l'ensemble de faible épaisseur a constitué au début un excellent moyen de développement des régions sahariennes, mais par la suite se montre inapte à supporter le trafic lourd qui s'est développé vers les années cinquante.

Cependant les besoins de transports croissent, s'effectuant à plus de 1000 Km, le développement des régions de palmeraies aussi bien que la mise en valeur des champs pétroliers miniers...etc, ont imposés l'établissement d'un réseau routier à caractéristiques modernes : routes revêtues et aérodromes à grandes envergures.

3.2 Données climatologiques

Pour résumer au moyen d'une caractéristique unique une série de données, on utilise habituellement la moyenne arithmétique de l'ensemble des valeurs qui composent cette série lorsque s'allonge la période sur la quelle elles sont calculées, ces moyennes dans le temps après diverses fluctuations à se stabiliser et l'adjonction des nouvelles valeurs ne parait plus exercé l'influence sensible. Il est assez naturel d'attacher à de telles moyennes un certain caractère représentatif de l'élément en tant que donnée de base autour de laquelle oscilleront vraisemblablement les valeurs futur au même temps, en tant que valeur la plus probable c'est-à-dire qui se produira plus fréquemment que chacune des autres.

C'est ainsi que les résultats qui vont suivre ont été résumé au moyen de cette caractéristique unique plus connue par les météorologistes sous l'appellation « normal ».

Tableau 3.1 : Coordonnées géographiques des stations

Stations	Latitude	Longitude	Altitude
BECHAR	31°38 N	02°16 W	809 m
ADRAR	27°50 N	00°11 W	276 m
TIMIMOUN	29°14 N	00°16 E	311 m
TINDOUF	27°49 N	08°10 W	442 m

Source : Google earth, 2007.

Tableau 3.2 : Exemple de relevé Climatologique, 2006.

	STATIONS											
	ADRAR			BECHAR			TIMIMOUN			TINDOUF		
Mois	PRE	H.R	T.M	PRE	H.R	T.M	PRE	H.R	T.M	PRE	H.R	T.M
JAN	3	48	12,4	12	46	10,1	3	51	12,1	6	48	13,7
FEV	2	38	15,6	7	40	12,6	2	41	15,1	4	41	15,9
MAR	0	26	19,2	8	29	15,8	2	29	18,6	4	37	18,7
AVR	0	23	23,2	11	29	19,1	3	26	22,6	1	40	21,2
MAI	1	19	28,1	4	26	24,3	1	21	27,7	1	38	24,7
JUI	0	15	33,3	2	19	29,2	0	18	23,2	0	35	28,0
JLL	0	13	35,8	1	14	33,2	0	15	35,7	0	24	33,7
AOU	1	15	35,5	3	17	32,4	0	17	35,2	3	26	33,8
SEP	0	24	31,5	7	26	27,7	0	25	30,9	6	34	29,5
OCT	2	33	24,5	12	33	20,9	3	34	24,0	13	39	23,5
NOV	3	43	18,1	10	43	14,8	1	46	17,4	9	42	18,3
DEC	3	47	12,9	10	46	10,3	4	48	12,4	6	48	13,6

Source : office national de la météorologie, 2006.

Chapitre 3 : Etude des sites

PRE : précipitation en millimètre ;

H.R : humidité relative en % ;

T.M : température moyenne °C.

Seuils de la température : (40 années d'observation)

ADRAR : -4,6°C à 49,4°C

BECHAR : -4,8°C à 44,0°C

TIMIMOUN : -4,8°C à 50,4°C

TINDOUF : -1,6°C à 48,8°C

Tableau 3.3 : Fréquences des vents suivants huit directions

STATIONS	DIRECTIONS								
	N	N.E	E	S.E	S	S.O	O	N.O	CALMES
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ADRAR	17,1	23,3	12,6	6,6	11,6	8,4	7,4	6,3	6,9
BECHAR	10,2	9,4	9,9	5,6	8,9	10,6	8,0	4,6	32,5
TIMIMOUN	26,9	24,0	10,8	3,8	9,5	9,0	6,0	4,1	5,9
TINDOUF	11,4	7,3	9,8	3,0	3,8	3,9	15,1	26,4	19,2

Source : ONM, 2006.

3.3 Aperçu géologique

Dans la grande partie du Sahara Algérien et surtout dans le nord-ouest, les formations sédimentaires déposées au premo-carbonifère (premier carbonifère) sont les plus continues et les plus puissants.

Les fortes subsidences de cette plateforme liée à sa situation au carrefour de zones mobiles ont favorisées d'un ensemble lithologique de faciès d'une variation plus ou moins notables. Il s'agit de dépôts détritiques en prédominance formant la couverture de la plateforme (dalle calcaireuse mince et discontinue, argiles variées à passées gréseuses, marne, grés silicieux,...etc.), aussi bien que les dépôts térigènes formant les nouvelles apports.

Les affleurements au nombre peu limité et à position dispersées ont jouées un rôle important dans l'accumulation des dépôts tufeux à travers le Sahara. L'abondance des encroutements dans certaines régions ne rends pas utile leur prospection. Celle-ci à pour but de repérer les gites les plus proches du tracé, de les reconnaître d'en choisir les meilleurs par la qualité géotechnique du tuf. Le mot « TUF » est définit ainsi : formation géologique de consistance généralement poreuse. Dans la nature, le tuf se rencontre soit sous forme d'encroutement calcaire, soit sous forme d'encroutement gypseux.

Généralités sur les spécifications des matériaux pour les couches de chaussées :

A la suite d'une rencontre technique tenue à BENI-ABBES en 1964, a été définit le fuseau granulométrique saharien dit de BENI-ABBES.

Le tableau 3.4 ci-dessous représente les pourcentages des passants des courbes Minima et Maxima du fuseau de présélection.

Tableau 3.4 : fuseau granulométrique de Béni Abbes

MAILLE CARREE mm	COURBES MINIMA DES POURCENTAGES (%)	COURBES MAXIMA DE POURCENTAGES (%)
80	100	100
50	90	100
20	58	100
10	41	80
5	30	63
2	21	49
1	16	45
0,4	13	37
0,2	11	30
0,1	10	20

Source : Ministère d'équipements, 1964.

Ce fuseau de BENI-ABBES est la base de la classification des matériaux sahariens utilisables en assise de chaussées (couche de base et de fondation). Cette classification se présente en trois grandes familles.

a- Première famille

Elle englobe les matériaux à ossatures dans la courbe granulométrique est au-dessous du fuseau de BENI-ABBES. Ces matériaux assez rares sont identifiés essentiellement à partir du coefficient los-Angeles qui ne doit pas dépasser 40%.

b- Deuxième famille

Elle concerne les matériaux dont la courbe granulométrique s'insère entièrement dans le fuseau de BENI-ABBES. Les paramètres granulométriques sont les plus déterminants pour ces matériaux. Ce paramètre ne doit pas changer par réduction des gros éléments lors de la mise en œuvre. Dès lors, le coefficient los-Angeles ne doit pas dépasser 45%. L'indice de plasticité doit être mesurable et le têt de carbonate et du sulfates doit être supérieur à 20%, ce sont également des éléments de définition des matériaux presque indicateur de la cohésion inter-granulaire. En plus de ce moyen d'identification, des essais PROCTOR MODIFIE, CBR et éventuellement de compression simple permettent de définir les préférences mécaniques.

c- Troisième famille

Elle regroupe les matériaux dont la courbe granulométrique est partiellement ou entièrement au dessus du fuseau de BENI-ABBES. Il s'agit des matériaux à fines calcaires, ou gypseuses pour lesquelles la somme des carbonates de sulfates doit dépasser 70% et des matériaux à fines argileuses dont l'indice de plasticité $IP = 10\%$ à 12% . On identifie ces matériaux aussi par l'essai de compression simple ($R_c \text{ à sec} > 25\text{Kg/cm}^2$).

N.B : lorsque les matériaux de la deuxième famille ne respectent pas les conditions de coefficients los-Angeles définies, ils doivent être considérés comme étant de la troisième famille et la première famille passe à la deuxième famille dans ce cas.

Comportement du milieu naturel en zone désertique

En zone désertique, le milieu se caractérise par des sols en surface asséchés où la teneur en eau ne dépasse guère 1 à 2%. Dans ces conditions le sol se comporte de façon rigide élastique à rupture instantanée s'accompagnant par un écrasement pulvérisation sous charge de rupture. Dans le domaine de comportement élastique les déformations sont réversibles et ne s'accompagnent pas d'écoulement des sols. La plus part des sols granulaires, cohérents offrent dans ces conditions des résistances exceptionnelles limitées aux domaines élastiques et permettant d'admettre et d'étendre la qualité des matériaux utilisables en assise de chaussée à différentes natures des matériaux existants à la surface des sols, tel que encroûtement calcaires, les graves issues de l'altération des dalles grésocalcaire de HAMMADA, les terrasses alluvionnaire de l'ATLAS SAHARIEN, les terrasses calcaires du carbonifères etc... ; ce qui a rendu possible et rigueur la conception et le dimensionnement des chaussées en zones désertiques en tenant compte de la nécessité des pris en compte de l'amélioration des performances du sol support par stabilisation mécanique et des potentialités existantes en matériaux naturels dans l'étude au laboratoire, dans les conditions du milieu naturel, confirme une large utilisation en corps de chaussée de ces matériaux dont la performance mécanique permet de supporter les contraintes de service. En milieu désertique les sols ayant une bonne distribution granulaire et une cohésion inter-granulaire appréciable et en particulier les sols carbonatés offrent des résistances élevées par rapport aux charges de services, à mise en œuvre (humidification, malaxage, consolidation par compactage) appelées résistances immédiates, ces dernières augmentent au fur et à mesure que le matériau ou le sol traité perd de son humidité jusqu'à sa teneur en eau d'équilibre, à ce stade les matériaux offrent des résistances exceptionnelles parfois au-delà de celles offertes par les matériaux conventionnels traités.

3.4 Présentation des aérodromes

3.4.1 Aéroport d'Adrar

a) Emplacement

La ville d'Adrar est située dans le grand sud de l'Algérie à une distance de 1400 km de la capitale Alger, possédant un climat saharien aride, dont l'aéroport Touat est situé à 10 km au sud-est de la ville d'Adrar, orientée 44.25° Nord Est, son altitude est de 280 m.

La carte suivante montre la situation de l'aéroport par rapport à la ville d'Adrar :

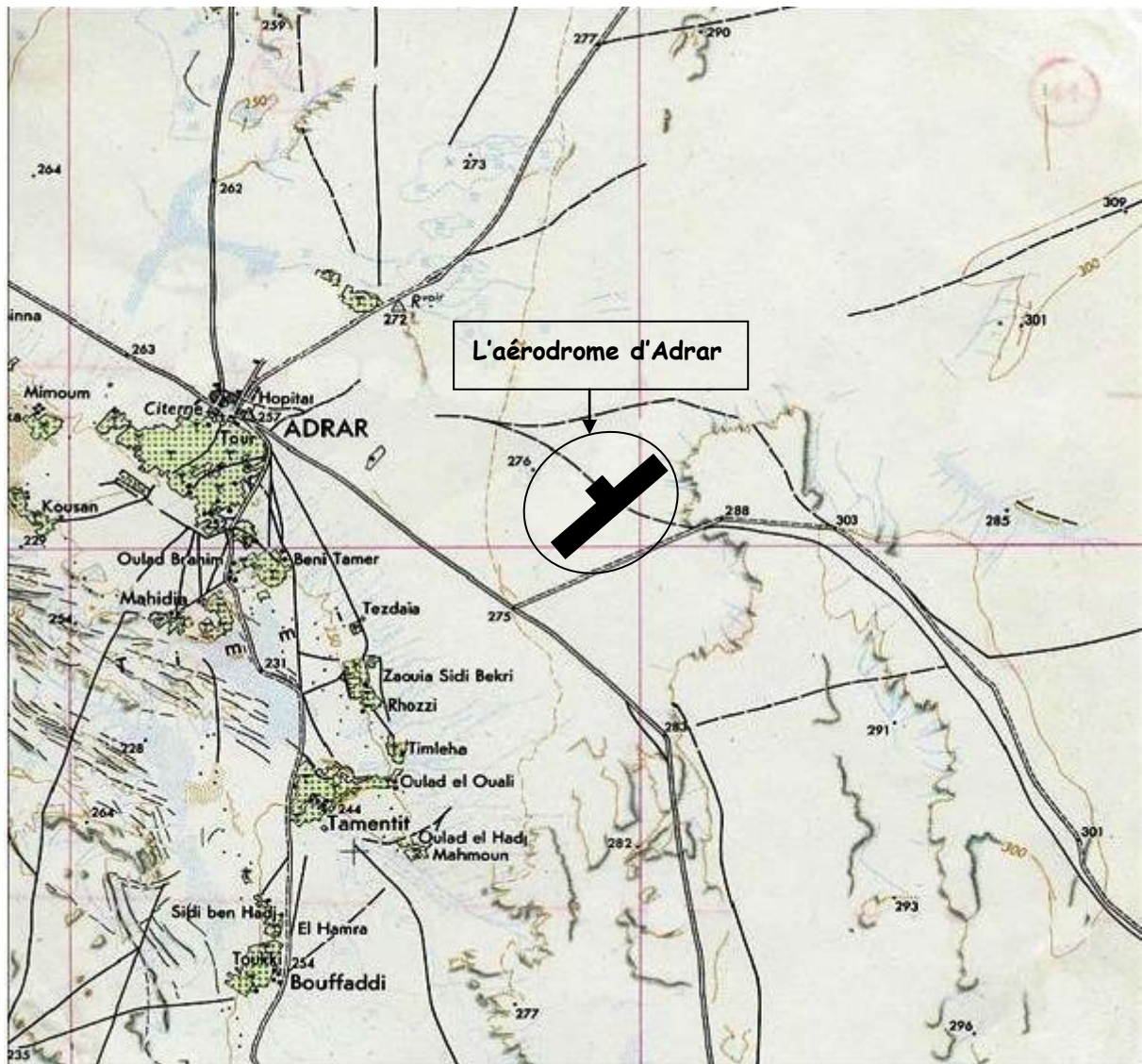


Figure 3.1 : Carte de la région de touat

b) Plan de situation de l'aérodrome

Le plan de situation a été pris par une image satellite.



Figure 3.2 : Plan de l'aérodrome d'Adrar

Source : Google earth, 2006.

c) Présentation de l'aérodrome

Données générales :

- Nom de l'aérodrome : TOUAT/ CHEIKH SIDI MOHAMED BELKBIR.
 - Wilaya d'implantation : ADRAR
 - Classe: A (selon la classification Algérienne des aérodromes).
 - Statut : Civil
 - Situation géographique : L'aérodrome est situé à 10 kms à l'est de la ville d'ADRAR
 - Date de construction : 1981
 - Date de mise en service : 1983
- Environnement de l'aérodrome :
- Altitude de l'aérodrome : 280m.
 - Température de référence : 40 °c.
 - Pluviométrie : 50 mm/an accidentel.

-Vents dominants : Nord est sud est.

d) Historique de l'aérodrome

L'aérodrome TOUAT d'ADRAR a été construit entre 1978 et 1980, cette action consiste à réaliser une piste 04/22 d'une longueur de 3000m et d'une largeur de 45m avec des accotements de 7.5 m de chaque côté, un parking de 240 x 84 m, une bretelle de 360m de longueur et de 25 m de largeur ; Sachant que tous ces travaux ont été achevés à la fin de l'année 1980.

La structure de la chaussée de « piste, voie de circulation et parking » est composée comme suit :

- une couche de forme de 15cm,
- une couche de fondation en tuf de 25cm,
- une couche de base en grave bitume de 12cm,
- une couche de roulement en béton bitumineux de 7cm.

Il est tenu de rappeler que l'essai effectué sur la piste de l'aérodrome TOUAT en 1981 avec un Boeing B737 n'a pas donné les résultats escomptés, puisqu'il s'est avéré que l'épaisseur de cette dernière est insuffisante, ce qui a poussé les services techniques de penser et de procéder au rattrapage de l'épaisseur de la chaussée « piste » avec 5cm d'épaisseur, ensuite l'aérodrome a été mis en service.

Quelques années plus tard, plus précisément en 1988, ils ont observé des fissures sur les chaussées, ce qui les a conduits à la recherche d'un traitement plus efficace qui consiste en colmatage à la résine.

Entre 1993 et 1994 l'aérodrome a subi un renforcement qui consiste :

Traitement de fissure par colmatage.

Mise en œuvre d'une couche de base en grave bitume de 12cm.

Mise en œuvre d'une couche de revêtement en béton bitumineux de 8cm.

Ensuite en 2001 l'aérodrome a subi un colmatage de fissures sur les trois aires de manœuvres.

Description de l'aérodrome TOUAT d'ADRAR :

L'aérodrome TOUAT est constitué d'une seule piste qui est identifiée 04/22, d'une voie de circulation et d'un parking, deux raquettes de manœuvre aux extrémités de la piste.

La piste principale 04/22 :

C'est la plus longue dans l'aérodrome, elle est identifiée comme 04/22, orientée 44.25° Nord Est, d'une longueur de 3000m et d'une largeur de 45m, deux accotements revêtus en enduit superficiel de 7.5 m de largeur chacun, d'une bande latérale de 50m de largeur sur chaque côté de la piste.

La bretelle: il existe une seule bretelle dans l'aérodrome TOUAT, perpendiculaire à la piste d'envol de 306m de longueur, de 25 m de largeur de chaussée avec accotement revêtu de 7.5 m chaque côté.

Le parking: celui-ci commence de la fin de la voie de circulation, il est d'une longueur de 240 m et d'une largeur « profondeur » de 85 m équipé de quatre postes de stationnement.

Les raquettes de manœuvres :

L'aérodrome d'ADRAR comporte deux raquettes de manœuvre sur les deux extrémités de la piste.

e) Situation climatique d'ADRAR

La wilaya d'ADRAR est dominé par un climat désertique, considéré comme aride et sec possédant :

- une pluviométrie de 50 mm par an ce qui représente une quantité d'eau annuelle très faible accidentel,
- une température diurne maximale en été atteignant les 60° c et une température nocturne minimale, hivernale descendante à moins zéro °c,
- le vent dominant est de direction Nord-Est, Sud-Est.

f) Données de base de l'aérodrome d'ADRAR

1. Le Trafic

Le trafic est l'un des paramètres prépondérants dans l'étude (tracé, structure) d'un aérodrome. Donc il est nécessaire de connaître l'évolution future de ce paramètre pour dimensionner et concevoir les infrastructures aéronautiques tant sur les dimensions géométriques et structurelles.

Résultats et analyse des données du trafic

Les données de trafic aéronautique représentées sous forme de tableaux, ont été recueillies auprès de l'EGSA local, montre la composition essentielle des types d'avions fréquentant souvent l'aérodrome d'Adrar qui sont :

Le Boeing737, Boeing727, Fokker27 et ATR42.

Chapitre 3 : Etude des sites

Le tableau 3.5 suivant nous montre la composition du trafic et le nombre de mouvements pour chaque type d'avion.

Tableau 3.5 : Composition du trafic

Type d'avions	Nbre de mvts/sem	Nbre de mvts/année	Nbre de mvts/jour	Composition (%)
B727	04	208	0.57	9.52
B737	24	1248	3.43	57.15
F27	12	624	1.71	28.57
ATR42	02	104	0.29	4.76
Total	42	2184	6.00	100.00

(Etablissement de Gestions et de Services Aéroportuaires, 2006.)

Evolution du trafic

Pour concevoir et dimensionner les infrastructures aéronautiques, il est primordial et indispensable de connaître l'évolution du trafic aérien dans le future « trafic prévisionnel » qui est susceptible de fréquenter l'aérodrome d'Adrar qui s'agit du mouvement commercial et non commercial

Le trafic enregistré sur l'aérodrome d'Adrar entre 1999 et 2004 est représenté dans le tableau 3.6 suivant.

Tableau 3.6 : Trafic entre 1999 et 2004

Année	Mouvement Commercial	Mouvement non Commercial	Total Mouvement
1999	1.658	164	1.822
2000	1.746	308	2.054
2001	2.048	277	2.325
2002	2.030	256	2.286
2003	1.379	264	4.643
2004	1.142	808	1.950

(Etablissement de Gestions et de Services Aéroportuaires, 2006.)

Représentation graphique de l'évolution de trafic (1999-2004) :

Les résultats du tableau précédent, donne le trafic annuel total durant les années 1999 à 2004, représentés sous forme d'histogrammes. Il s'agit du trafic commercial et non commercial.

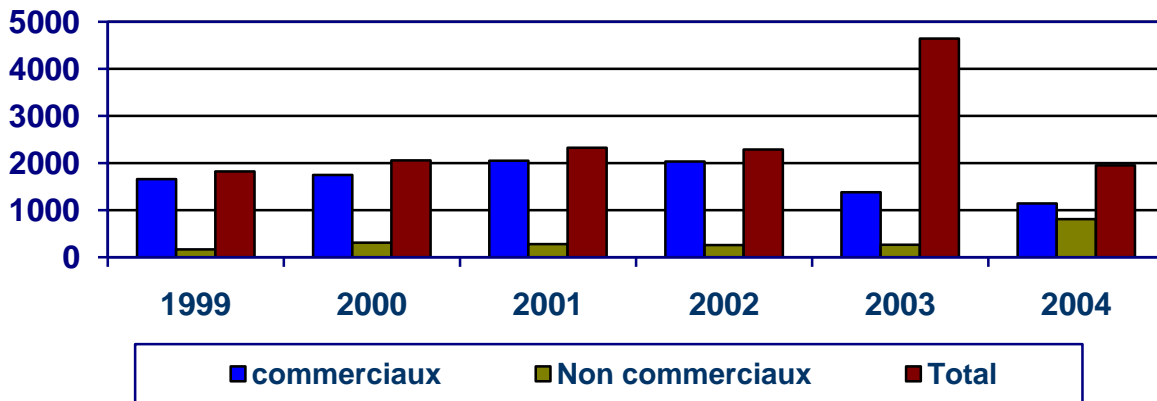


Figure 3.3 : Evolution du trafic 1999 à 2004

(Etablissement de Gestions et de Services Aéroportuaires, 2006.)

2. Climatologie

La climatologie est un élément indispensable et nécessaire à connaître pour un aéroport, il est représenté par les paramètres suivants :

- Le vent.
- La température.
- La pluviométrie.

Ces paramètres influent directement sur le comportement du corps de chaussée et l'assainissement de l'aéroport. Nous ne disposons que le recueil des données climatologiques de la période (1995) et (2000-2004) édité par l'office national de la météorologie (O-N-M).

La température

La température est un élément de correction de la longueur de base d'une piste d'envol (atterrissage ou décollage), influe aussi considérablement sur le comportement et la dégradation des chaussées bitumineuses.

A partir des tableaux donnant les températures annuelles (voir annexe), nous avons pris les moyennes de températures suivantes :

- Température maximale moyenne annuelle 38.53 °c
- Température maximale au mois le plus chaud 48.23 °c

- Température maximale moyenne 33.77°c
- Température minimale moyenne annuelle 12.68 °c
- Température minimale au mois le plus chaud 23.96 °c
- Température minimale moyenne 16.8°c

Concernant la région d'Adrar, celle-ci est caractérisée par les valeurs des précipitations suivantes :

- Pluviométrie mensuelle annuelle maximale 47 mm (en 2004)
- Pluviométrie moyenne annuelle 33 mm

Les vents

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

Les vents traversiers

Le vent traversier est la composante du vent qui fait un angle α avec l'axe de la piste principale qui est dangereux pour l'atterrissage des aéronefs. Pour chaque classe d'aérodrome on adopte une vitesse du vent traversier admissible exprimée en m/s sous la forme $V_t = V_v \cdot \sin \alpha$

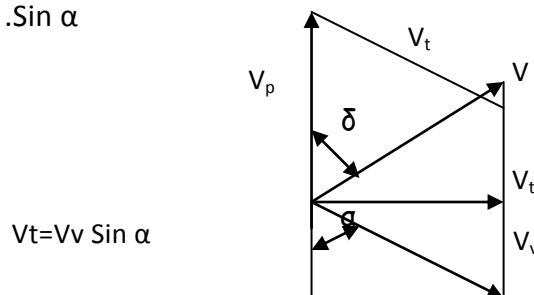


Figure 3.4 : Vitesse du vent traversier

3. Structure géologique du sol

Le site est un terrain plat présentant quelques très faibles dénivellements recouvert en surface par du sable fin caillouteux. Le terrain est limité par des terrains vagues sur tous les côtés. Tous les points sondés ont révélé une même formation géologique du sol, en surface se trouve une couche mince (10 cm environ) de sable fin caillouteux surmontant une couche de grave argileuse peu gypseuse, blanchâtre à rougeâtre d'une épaisseur allant de 0,40 m à 1 m. En quelques points de tracé on rencontre parfois des poches de gypse. L'ensemble

repose sur une dalle de roche de consistance très dure, il s'agit de grès quartzite très épaisse dépassant les quatre mètres.

3.4.2 Aéroport de Béchar

a) Emplacement

La ville de Béchar est située dans le grand sud de l'Algérie à une distance de 1000 km de la capitale Alger, possédant un climat saharien aride, dont l'aéroport Benali Boudghen est situé à 10 km au nord-ouest de la ville de Béchar, orientée $31^{\circ}38$ nord, $2^{\circ}16$ ouest, son altitude est de 809 m.

b) plan de situation

La photo satellite suivante montre l'aéroport de Béchar :



Figure 3.5 : Aéroport de Béchar vue satellite

(Google earth, 2007)

c) Présentation de l'aéroport

Données générales :

- Nom de l'aéroport : Benali Boudghen
- Wilaya d'implantation : Béchar
- Classe: A (selon la classification Algérienne des aéroports).
- Statut : mixte civil et militaire
- Situation géographique : L'aéroport est situé à 7 km au nord de la ville de Béchar

-Date de construction : 1955

-Date de mise en service : 1957

Environnement de l'aérodrome :

-Altitude de l'aérodrome : 809 m.

-Température de référence : 36°C.

-Pluviométrie : 100 mm/an accidentel.

-Vents dominants : sud ouest, nord.

Historique de l'aérodrome :

L'aérodrome Benali Boudghen de Béchar a été construit entre 1955 et 1957, cette action consiste à réaliser une piste 01/19 d'une longueur de 3000m et d'une largeur de 45m avec des accotements de 7.5 m de chaque côté, un parking de 240 x 84 m, une bretelle de 360m de longueur et de 25 m de largeur ; Sachant que tous ces travaux ont été achevés à la fin de l'année 1958.

La structure de la chaussée de « piste, voie de circulation et parking » est composée comme suit :

-une couche de forme de 15cm,

-une couche de fondation en tuf de 25cm,

-une couche de base en grave bitume de 12cm,

-une couche de roulement en béton bitumineux de 7cm.

Structure géologique du sol:

La région de Béchar-Kenadsa est déterminée morphologiquement comme un bassin carbonifère.

Cette même région fait partie du revers Sud de l'ATLAS SAHARIEN où commence le Sahara occidentale.

Là, la stratification est toutefois traduite par l'importante sédimentation des terrains stériles présentés par l'alternance des grès stratifiés, des marnes et des argiles variées et argilites, aussi bien que par les variations latérales des faciès qui affectent les terrains stériles.

La couche superficielle d'âge récent composé essentiellement de sable graveleux et cailloutis peu argileux, varie largement en épaisseur d'une zone à l'autre.

Les faciès sont incomplets et les ravinements nombreux ou certains niveaux conglomératiques et macro-conglomératiques s'installent indiquant une sédimentation perturbée à l'origine.

Chapitre 3 : Etude des sites

Des niveaux de calcaire lacustre blanchâtre est dur, tantôt en dalle unie légèrement fissurée et siliceuse, tantôt en fragments irréguliers par une matrice carbonatée peu connue dans le bassin carbonifère de Béchar, affleure en surface vers le sud en y formant les domets tabulaire du plateau de BENI-ABBES.

A l'origine, les lagunes étaient de peu d'étendue bordées par chenaux à fond sableux définissent un dépôt de facies deltaïque marqué par d'épaisses masses de grès lité.

La tectonique est toutefois caractérisée par un jeu de failles de faibles amplitudes datées cénomanien.

- Failles de tassement sans émission fissurale ;
- Failles relativement plus importantes ayant une direction parallèle à celle connue par la faille de KSIKSOU

3.4.3 Représentation de l'aérodrome Timimoun

a) Emplacement

L'aérodrome de Timimoun se situe à 9 Km à l'Est de la ville, il se compose d'une piste de longueur de 3 Km et de largeur de 45 m, de deux bretelles et d'une aire de stationnement. Il reçoit en plus des avions légers des aéronefs civils importants notamment des Boeing 737.

Timimoun, surnommée la flamboyante, est située au bord du plateau de Tadmaït. Elle domine la Sebkhra qui est l'ancien site de ce qui fut autrefois tantôt un fleuve, tantôt une étendue lacustre. Ce bassin a reçu par phases successives de nombreux sédiments, il est riche en fossiles.

Le paysage est le même que les autres oasis du Gourara, un village qui surplombe la palmeraie et qui ouvre sur le bassin sédimentaire de la Sebkhra, offrant un magnifique panorama sur la partie méridionale du Grand Erg Occidental, composé de splendides dunes. Il y a de nombreux siècles, des bateaux empruntaient la sebkhra, comme en atteste des écrits anciens, ainsi que la tradition orale, certains villages de ses rives auraient des noms de ports, aujourd'hui disparus.

b) Plan de situation

La photo satellite suivante montre l'aérodrome de Timimon :

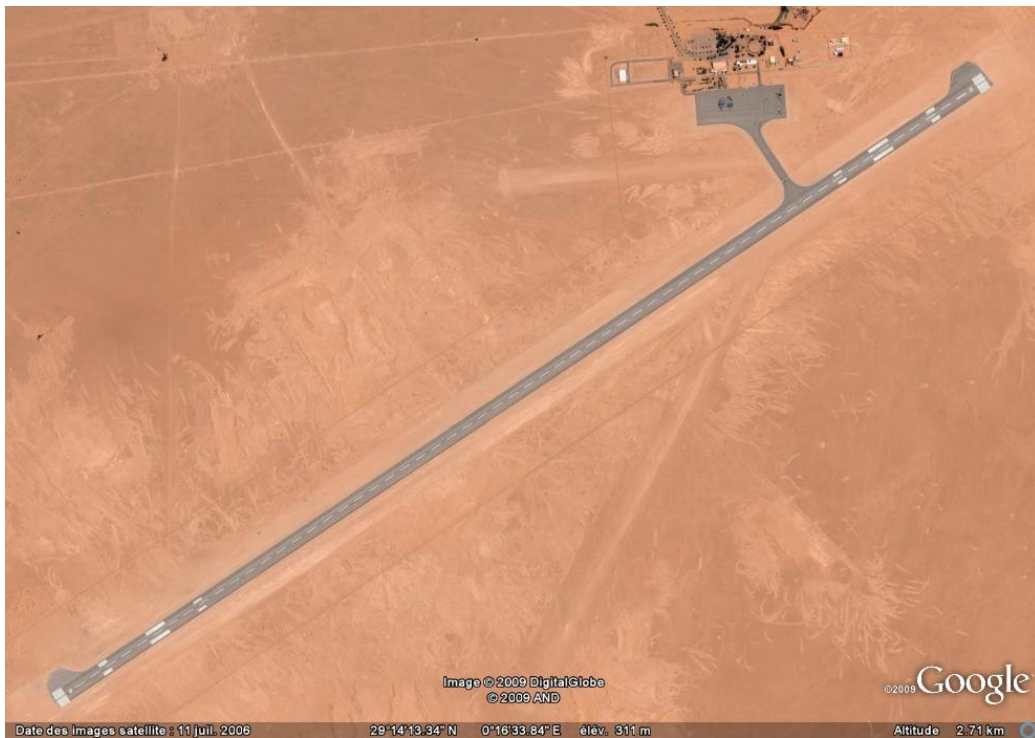


Figure 3.6 : Aérodrome de Timimoun vue satellite

(Google earth, 2007)

c) Présentation de l'aérodrome

Données générales :

- Nom de l'aérodrome : GOURARA.
 - Wilaya d'implantation : ADRAR
 - Classe: A (selon la classification Algérienne des aérodromes).
 - Statut : Civil et militaire
 - Situation géographique : L'aérodrome est situé à 9 Km à l'est de la ville de Timimoun
 - Date de construction : 1956
 - Date de mise en service : 1958
- Environnement de l'aérodrome :
- Altitude de l'aérodrome : 310 m.
 - Température de référence : 40 °c.
 - Pluviométrie : 50 mm/an accidentel.
 - Vents dominants : Nord est sud est.

d) Site géologique

L'aspect morphologique de la région est tout simplement l'image d'une large étendue pénéplainisée couverte totalement en surface par les terrains du continental intercalaire parfois ou même surmontés par les dépôts du reg quaternaire où les affleurements s'étalent en couches minces et régulières.

Dans la dépression de TOUAT, le calcaire du crétacé terminal aussi bien que les formations gypso-lagunaires ne se font observer qu'en certaines parties de la région en formant une continuité stratigraphique appartenant aussi au continental intercalaire.

Le crétacé inférieur tel que défini par les études stratigraphiques s'érige sous forme de petits plateaux étagés dont leurs bordures gisent sous un pendage net, mettant à jour des grès hétérogènes peu argileux, couverts par endroit par des alluvions limoneuses rougeâtres.

Le tectonique est faiblement développée traduite par des failles de moindre extension orientées généralement Nord-Ouest-Sud-Est.

Cependant l'alignement de fossés assez développés dans la région impose des zones de faibles résistances.

3.4.4 Représentation de l'aérodrome de Tindouf

La photo satellite suivante montre l'aérodrome de Tindouf :



Figure 3.7 : Aérodrome de Tindouf vue satellite

(Google earth, 2007)

a) Historique

Pour des raisons stratégiques, l'aérodrome de Tindouf a été construit en 1976, les travaux ont duré une année ce qui a fait que son ouverture au trafic date de l'année 1977. Il est formé d'une seule couche de béton bitumineux de 8 cm d'épaisseur posée directement sur le sol support (terrain naturel). D'après les informations recueillies, la prise de cette initiative unique de son genre est due à la seule raison qu'on ne pouvait pas se permettre la construction d'une chaussée normalement dimensionnée du fait de la nécessité d'un aérodrome qui répond à la demande en trafic militaire dans les plus brefs délais.

L'aérodrome de Tindouf se situe à 10 Km au nord de la ville, reçoit en plus des avions légers des aéronefs civils importants notamment des Boeing 737 et 727 et même accidentellement un Boeing 747.

Evolution des dégradations :

L'évolution de certaines dégradations peut engendrer d'autres, dont l'impact sur le comportement de la chaussée est plus important.

Du point de vue évolution, on distingue deux types de dégradations

- Le premier type évolue plus ou moins rapidement sans pour autant engendrer d'autres. Ce type de dégradation est en générale le moins fréquent et se développe en surface.
- Le second type se développe initialement sous la même forme, mais au-delà d'un certain seuil, la dégradation d'origine engendre d'autres, naturellement plus fatales pour la chaussée.

b) Structure géologique du sol

L'aérodrome de Tindouf se situe sur la HAMMADA du pliocène de Tindouf caractérisé par une couche grés-marneuse de forte puissance 80 m environ surmontée par une dalle grés-calcaire de 5 m à 10 m d'épaisseur plus ou moins altérée en surface sous forme de grave sablo-marneuse.

Chapitre 3 : Etude des sites

L'exécution d'une dizaine de sondages carottés circonscrits aux différentes parties de l'infrastructure montre l'homogénéité de la coupe géologique, l'épaisseur des couches de surfaces issues de l'altération de la dalle calcaire à une épaisseur presque constante de deux mètres sauf un sondage où l'épaisseur de la couche altérée est de 7m au-dessus du toit de la dalle calcaire.

Par conséquent l'emprise de l'aérodrome de Tindouf sur un sol géologiquement homogène constitué d'une couche de grave grésocalcaire sablo-marneuse de 2 m d'épaisseur surmontant une dalle calcaire reconnue de plus de trois mètres d'épaisseur.

L'aérodrome de Tindouf est situé sur le plateau de la HAMMADA de Tindouf caractérisée par un substratum rocheux à 2m de profondeur dans l'ensemble surmonté par une couche de grave sablo-marneuse issue de l'altération du substratum et des apports de surfaces formant le sol support des infrastructures aéronautiques de l'aérodrome.

3.5 Analyse géotechnique

La géotechnique a pour but d'analyser les caractéristiques mécaniques et physiques du sol support.

Pour l'élaboration et l'exécution d'un projet il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des terrains traversés. Pour cela, la reconnaissance géotechnique constitue une source d'informations indispensables, car elle permet :

- En phase d'étude, de bien définir le projet (dimensionnement du corps de chaussée, choix des matériaux).
- En phase d'exécution : elle permet réaliser les travaux avec minimum de risques possibles (choix des moyens et des matériaux adaptés à la nature des sols).
- Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol. Pour cela on fait des essais en laboratoire qui permettent de : déterminer les caractéristiques en place.

3.5.1 Aéroport d'Adrar

La méthode utilisée pour une bonne connaissance géotechnique, c'est d'établir un programme de reconnaissance géotechnique, qui est établi par le CTPP (Organisme national du contrôle technique des travaux publics) exécuté par LTPOuest Bechar comporte :

Des mesures de portance résiduelle des chaussées existantes au moyen du système de mesure des déflexions HWD.

Une investigation géotechnique qui consiste-en :

Exécution des sondages carottés avec prélèvement de carottes d'enrobés.

Exécution des puits de sondage avec prélèvement d'échantillons du sol support.

Des essais au laboratoire.

Mesure de déflexion:

Présentation

Les chaussées des aires constituant l'aéroport feront l'objet d'une auscultation pour la mesure de déflexion au moyen d'un appareil à grand rendement.

Chapitre 3 : Etude des sites

L'appareil utilisé, le HWD (Heavy weight Défloctometer) est adapté aux chaussées aéronautiques. Cet appareil permet de réaliser des essais non destructifs et rapides en un point ponctuel de la chaussée.

Les mesures prises sur site par le système HWD portent les résultats suivants :

Les valeurs de déflexion ;

Les modules de rigidités de chaque couche ;

La durée de vie résiduelle de la chaussée existante ;

Les épaisseurs de renforcement.

Les mesures :

Les mesures prises dans la surface des chaussées comme suivent :

La piste d'envol :

Longueur : 3000 m

Largeur : 45 m

Densité de mesure : 1 point de mesure / 50 m

Nombre de point : 60 points.

La bretelle

Longueur : 306 m

Largeur : 23 m

Densité de mesure : 1 point de mesure / 50 m

Nombre de point : 6 points.

Le parking :

Longueur : 220 m

Largeur : 68 m

Densité de mesure : 4 points / poste de stationnement

Nombre de point : 16 points.

Le nombre total de point de mesure est de 82 points.

Investigation géotechnique

La campagne géotechnique consiste à déterminer les épaisseurs de différentes couches de la chaussée en place « sondage carotté » et de reconnaître aussi le sol support « sondage par puits ».

Sondage par puits

Les puits de reconnaissance sont réalisés à un niveau bas du corps de chaussée à une profondeur de 50 cm qui se situent sur le bord de la piste et de la bretelle qui sont exécutés au niveau des accotements.

Les prélèvements des échantillons doivent être d'une quantité suffisante pour l'exécution des essais au laboratoire.

Les puits de reconnaissances « sondage par puits » au nombre de 04 qui sont implantés comme suit :

Deux sondages (S1, S2) localisés respectivement au PK 0+500 et PK2+500 de la piste.

Un sondage (S3) localisé à proximité de la voie de circulation.

Un sondage (S4) localisé près du parking.

Sondage carotté

Les sondages carottés sont exécutés à l'aide de tubes carottés, qui peuvent atteindre plusieurs mètres et qui sont réalisés au niveau des chaussées de différents endroits auscultés de l'aérodrome, déterminants ainsi les couches bitumineuses mises en place au nombre de 34.

Les informations à récolter pendant l'exécution des carottes sont :

- La nature et les épaisseurs des diverses couches d'enrobés.
- L'état de fissuration des couches.
- La liaison entre différentes couches d'enrobés.

Les sondages carottés réalisés sont localisés comme suit :

Piste d'envol : 20 carottes « une carotte sur deux au niveau de fissures ».

bretelle : 06 carottes « une carotte sur deux au niveau de fissures ».

Parking : deux carottes par poste ; Soit 08 carottes sur deux au niveau de fissures.

Chapitre 3 : Etude des sites

Les couches auscultées lors du sondage carotté ont donné les résultats suivants :

Désignation	Localisation PK	N° De la carotte	structure de la chaussée					
			Grave naturelle CF	GB 0/20 C base	BB 0/14 C.Roule ment	BB 0/14 C.Ratrap age	GB0/4 C.Renf orceme nt	BB 0/08 C.Renf orcenment
Piste principale	0 +700	C2	25cm	12 cm	3.7cm	10cm	3.5cm	3.5cm
	0+850	C6	25cm	3.5cm	3 cm	5 cm	7.4cm	12.5cm
	1+150	C8	25cm	11cm	4.5cm	10cm	3.5cm	6 cm
	1+750	C12	25cm	NM	8cm	7.5cm	5.5cm	6.5cm
Bretelle	0+ 050	C23	25cm	12cm	7.5cm	11.5c	5.4cm	3.3cm
	0+150	C24	25cm	12cm	5.5cm	7.5cm	4.5cm	5.5cm
	0+250	C26	25cm	11cm	6.5cm	10cm	5.5cm	5cm
Parking	Poste1	C27	25cm	12cm	5.5cm	11cm	6.5cm	6.4cm
	Poste2	C30	25cm	12cm	4.5cm	11cm	5.4cm	5.6cm
	Poste3	C32	25cm	11cm	5.5cm	N.M	4.5cm	5.5cm

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.

BB: béton bitumineux ;

GB : grave bitume ;

N.M: non mesurée ;

C : couche.

Les coupes de la chaussée des aires auscultées se résument de haut en bas comme suit :

- 1- Une couche de renforcement en béton bitumineux 0/8.
- 2- Une couche de renforcement en grave bitume 0/20.
- 3- Une couche de ratrapage en béton bitumineux 0/14.
- 4- Une couche de roulement en béton bitumineux 0/14.
- 5- Une couche de base en grave bitume 0/20.
- 6- Une couche de fondation en grave naturelle.

Essais en laboratoire

Les essais d'identification :

a Analyses granulométrique :

Cet essai a pour objet de déterminer la répartition des grains suivant leur dimension ou grosseur.

Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous forme d'une courbe dite courbe granulométrique, cette analyse se fait en générale par un tamisage.

L'essai effectué sur les échantillons prélevés lors des sondages des quatre puits a donné les résultats suivants :

b) Limites d'Atterberg :

Les limites d'Atterberg sont déterminées, à l'aide d'un l'appareil appelé CASAGRANDE; Qui caractérise le comportement des sols fins en présence d'eau ; Ces limites déterminent l'état du sol dans différentes phases :

Limite de plasticité (W_p) : c'est la limite ou l'échantillon du sol passe de l'état solide à l'état plastique.

Limite de liquidité (W_l) : c'est la limite ou l'échantillon de sol passe de l'état plastique à l'état liquide.

Indice de plasticité I_p : il s'exprime en pourcentage correspondant à la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité : $I_p = W_l - W_p$.

Chapitre 3 : Etude des sites

Le tableau suivant nous donne les résultats du prélèvement:

	N° de sondage	Aires à renforcer	PK	Granulométrie		Limites d'Atterberg	
				%>2mm	%<80μ	Wl	Ip
Sol support	S1	Piste principale	0+500	40	24	44.8	18
	S2	Piste principale	2+500	45	22	37.7	15
	S3	Bretelle	-	52	18	25	15
	S4	Parking	-	54	21	26	6.7
Sol de fondation	S1	Piste principale	0+500	61	16	30	9
	S2	Piste principale	2+500	41	19	29	12
	S3	Bretelle	-	47	20	37	14
	S4	Parking	-	52	25	26	8.34

Source : LTPO, unité de Béchar,2007.

Interprétation:

Les résultats précédents nous montrent que le sol support est qualifié et classé comme une argile par le LCPC ou les matériaux sont peu plastiques.

Les matériaux qui composent la fondation de la chaussée sont la silice et le calcaire, sont classés par le LCPC comme des graves non plastiques.

Les essais mécaniques :

Essai PROCTOR MODIFIE :

L'essai PROCTOR consiste à étudier le comportement d'un sol sous l'influence de compactage et d'une teneur en eau, il a donc comme objectif la détermination de la teneur en eau afin d'obtenir une densité sèche maximale lors d'un compactage d'un sol prévu pour l'étude qui correspond à une teneur en eau ainsi obtenue est appelée « optimum PROCTOR ».

Essai CBR « Californien bearing ratio » :

C'est un essai qui a pour objectif d'évaluer la portance du sol en estimant sa résistance au poinçonnement, et ce afin de pouvoir dimensionner la chaussée.

L'essai consiste à soumettre des échantillons d'un même sol au poinçonnement plus explicitement, les échantillons sont compactés dans des moules à la teneur en eau optimum

Chapitre 3 : Etude des sites

(PROCTOR modifier) avec différentes énergies de compactage qui sont imbibés pendant 4 jours. L'essai CBR a été réalisé avec une énergie de compactage de 55 coups par couche pour chaque puits.

C) Teneur en eau naturelle, densité sèche et compacité :

Pour classer mécaniquement le sol support et le sol de fondation, on doit procéder à la détermination de la teneur en eau naturelle « Win-situ » et la densité sèche « γ_d », ainsi la compacité, dans l'objectif d'apprécier la densité et le compactage du sol.

Le tableau suivant nous résume les résultats des essais mécaniques, teneur en eau, la densité sèche et la compacité :

	N° de sondage	Point de prélèvement	Nature	Classification	Proctor				Compacité en (%)	CBR à 4 jours D'imbibition
					W Insitu (%)	γ_d insitu (t/m ³)	W Opm (%)	γ_d opm (t/m ³)		
Sol support	S1	P.P Pk 0+500	Silico-calcair	S.A	N.M	N.M	10	2.07	-	N.M
	S2	P.P PK 2+500	Silico-calcaire	S.A	8.09	2.02	10	1.95	-	30
	S3	Bretelle	Silico-calcaire	G.A	N.M	N.M	8	2.04	96.50	N.M
	S4	Parking	Silico-calcaire	G.A	N.M	N.M	10	1.89	-	N.M
Sol de fondation	S1	P.P Pk 0+500	Silico-calcaire	G.A	6.36	1.85	6	2.09	88.50	118
	S2	P.P PK 2+500	Silico-calcaire	S.A	4.52	2.06	8	2.02	98.10	104.69
	S3	Bretelle	Silico-calcaire	S.A	2.59	1.76	8	2.04	86.30	49
	S4	Parking	Silico-calcaire	G.A	2.60	1.70	8	2.10	81.00	31.07

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.

S.A: sable argileux.

G.A : grave argileuse.

Chapitre 3 : Etude des sites

Interprétation des résultats :

D'après le tableau précédent on peut qualifier les sols comme suit :

Le sol ou on a implanté l'aérodrome est considéré comme étant une grave argileuse ou un sable argileux et à coté de la piste de nature minéralogique silico-calcaire.

Le sol support et la couche de fondation ont une bonne compacité qui varie entre 86.30 % jusqu'à 98.10 % et une forte densité atteignant 2.10 t/m³.

La portance du sol mesuré à 4 jours d'imbibition nous a donné un CBR de 30, et en tenant compte des recommandations de LTPOuest la valeur de CBR à prendre est de 10.

Les matériaux de fondation sont caractérisés par une bonne portance.

Analyse chimique sommaire

L'analyse chimique consiste à déterminer la nature minéralogique et de mesurer la composition (teneur) en carbonates « CaCO₃ », en silices « SiO₂ », en sulfates « Sol », chlorures « Cl » et matières organiques.

Désignation	Silices SiO ₂	Carbonates CaCO ₃	La Nature minéralogique
Sol support	41.00 % à 65.80 %	40.50 %	Silico-Calcaire
Sol de fondation	-	13.72 %	Silico-Calcaire

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.

Interprétation des résultats :

D'après l'analyse chimique réalisée sur l'échantillon du sol support on remarque qu'il existe une grande partie de silice qui varie entre 41% à 65%, et une moyenne de 40% de calcaire « carbonates », ce qui correspond à un matériau de nature minéralogique de silico-calcaire.

Les matériaux de sol de fondation contiennent un petit pourcentage de silice et environ 13.72 % de carbonates, qui correspond à un matériau de nature minéralogique silico-calcaire « argile ».

Les enrobés :

D'après les carottages effectués sur les aires de manœuvres de l'aérodrome d'Adrar, on a fini de déduire qu'il existe quatre couches de béton bitumineux qui constitue la couche de roulement « surface » et une couche de base constituée de la grave bitume.

L'analyse des carottes de haut en bas, nous laissons porter les constatations suivantes :

Une couche de classe granulaire 0/8 en surface ;

Trois couches de classe granulaire 0/14 ;

Une couche de base de 0/20.

Les épaisseurs varient entre 3 à 5 cm.

D'après le LTPOuest Bechar les enrobés constituant la chaussée de l'aérodrome d'Adrar présente une meilleure qualité qui répond aux spécifications techniques des chaussées aéronautiques.

Selon les carottes exécutées on note qu'il existe un décollement entre les deux premières couches bitumineuses, ce qui n'assure pas la transmission et la répartition des efforts et des charges dues aux poids des aéronefs ; ainsi les fissures qui varient de 5 à 18 cm qui arrivent par fois jusqu'à la couche de base.

3.5.2 Aéroport de Béchar

Identification du sol :

L'allure des courbes granulométriques est dans l'ensemble homogène présentée par une forme étalée et continue.

Le pourcentage de gros éléments (cailloux, gravier) varie pour l'ensemble des courbes de 20% à 50% et celui des particules fines (filler) varie de 10% à 40%.

Par ailleurs les limites d'atterberg ont mis en évidence de pas les résultats obtenus un sol peu plastique soit :

- Limite de liquidité= de 20% à 32,90% \longrightarrow IP = de 4% à 16%
- Limite de plasticité = de 14,6% à 22,5%
- La densité sèche du sol a cependant été peu dispersée allant de 1,72 g/cm³ à 1,96 g/cm³ pour les teneurs en eau variant de 2% à 9% indiquant un sol dense.

La variation de ces valeurs (densité sèche et teneur en eau) bien que faible est due probablement à des zones basses (petites dépressions) du terrain naturel en contact direct avec l'assise ce qui, à notre avis emmagasine plus longtemps l'eau de pluie.

L'analyse chimique affirme suites aux résultats obtenus un sol carbonate moyennement siliceux et non gypseux dont les valeurs sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Désignation	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Insolubles	37,9	41,9	45,2	46	43,1	41,8	45,1	47,2	49,6
% sulfates	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces	Traces	traces
% Chlorures	0,25	0,18	0,24	0,20	0,34	0,30	0,31	0,28	0,25
% Carbonate	61,8	57,8	54,55	50,25	56,55	57,88	54,55	52,50	50,15

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.

A ces résultats chimiques s'ajoutent la valeur au bleu mettant en évidence des fines non polluées (non nocives) mis à part au P9 soit :

Désignation	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Valeur au bleu	0,54%	0,61%	0,55%	0,35%	0,40%	0,37%	0,35%	0,32%	1,40%

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.

Essais mécanique :

Toutefois les essais mécaniques (essai Proctor modifié et C.B.R imbibé aux différentes énergies de compactage) de par leur valeur obtenues densité Proctor modifié de 1,86 T/m³ à 2,8 T/m³ pour des teneurs en eau Proctor de 6% à 12% et un indice portant C.B.R de 49 à 79

confirment un sol facilement compactable mécaniquement et de bonne résistance au poinçonnement dont le gonflement à faiblement varie de 0,30 mm à 0,40 mm.

Les diagrammes Proctor modifié sont de maximum suffisamment plats et de courbes C.B.R ascendantes et régulières dans l'ensemble.

3.8.3 Aéroport de Timimoun

Pour l'identification de la nature et les épaisseurs concerne des différentes couches des chaussées en place et la reconnaissance du sol support et conformément au programme il a été réalisé :

Sondage par puits :

Six sondages ont été réalisés et repartis comme suite :

- 03 sondages (S1, S2, S3) localisés et respectivement sur la piste d'envol au PK 0+500, 1+500 et PK 2+500 (voir plan synoptique) ;
- 01 sondage (S4) localisé au bord de chaussée de la voie de circulation ;
- 02 sondages (S5, S6) près du parking.

Sondages carottés :

Les sondages carottés ont été exécutés sur toute les épaisseurs des différentes couches d'enrobés constituant la chaussée selon l'indication du plan d'implantation avec le relevé des observations nécessaires tel que :

- La nature et l'épaisseur des diverses couches d'enrobés ;
- L'état de fissuration des couches d'enrobés ;
- L'état de liaison entre couches d'enrobés (accrochage).

La répartition des sondages carottés a été réalisée comme suite :

- a- Piste d'envol 06/24 : 15 carottes avec 3 carottes au niveau des points de gonflement ;
- b- Bretelle : 4 carottes
- c- Parking : 2 carotte par poste soit 8 carottes

Interprétation des essais sol support et fondation :

Le sol support comme la couche de fondation présente des caractéristiques physiques, mécanique, et chimiques identiques. Ceci s'explique par le fait que la zone d'emprunte utilisée comme gîte de matériaux utilisable en couche de fondation se trouve à proximité immédiate et le long de la piste d'envol et par conséquent dans sa nature et ses performances s'identifie au sol support. Ceci dit bien que la classification de matériau de couche de fondation ou du sol support est à l'interface de l'appellation de grave argileuse et de sable argileux, ce matériau présent selon son degré de stabilisation des résistances au poinçonnement assez appréciable en rapport à la structure de chaussée. Les indices C.B.R immédiats à 96% de la densité OPM sont en général supérieurs à 50 et à la densité OPM supérieur à 70 dans la plus part des cas étudiés (sol support et couche de fondation). Les indices portant C.B.R après imbibition de quatre jours sont disparates toutefois supérieurs à 20 dans la plupart des cas. Ces résultats classent le sol support dans la catégorie « A » sol support portant.

Notant que l'étude des indice portants sur couche de fondation ne sont pas prévues dans le programme et n'ont pas été réalisées en complément car la valeur de l'indice portant immédiat supérieur à 60 confirme la qualité structurelle requise de la couche de fondation ; on pourrait admettre dès lors que les densités in-situ et la teneur en eau naturelle mesurée in-situ confirme cette qualité requise de la couche de fondation.

Tout ces résultats et ces données donnent une aidé sur la classification des sols supports selon l'instruction du service technique des base aérienne français de 1982 comme sol de catégorie « A » (sol portant). De même la couche de fondation conserve toute sa qualité structurelle requise malgré le fort pourcentage d'éléments fins mesuré sur les prélèvements ; ceci étant dû au mode de prélèvement sur une couche de fondation gardant sa forte densité et par contre les résistante aux efforts de creusement et en même temps fragilisée par la très faible teneur en eau naturelle (moins de 2%)

Qualité structurelle de la chaussée :

Le niveau de portance des sols supports dans les conditions naturelles (condition climatique désertique, très faible humidité du sol étant donné le niveau de la nappe phréatique ou se

situé au niveau – 0,40 m par rapport à la cote de la piste), et même dans les conditions de saturation confère au sol support sa classe de portance comme sol support de catégorie « A » avec un indice de C.B.R = 20 ; l'indice portant pris en compte dans le dimensionnement de la chaussée étant égale à 10.

Par ailleurs la couche de fondation stabilisée au compacteur lourd de 50 tonnes a conservé toute sa capacité ; en outre la faible teneur en eau, l'intégrité de la cohésion acquise lors de son malaxage et la nature chimique du matériau avec un assez fort pourcentage de carbonates amenant à la cristallisations de la calcite et une forte cohésion supplémentaire, lui confère une qualité structurelle au dessus de celle requise par effet de dalle ressentis lors de creusement des puits de reconnaissance.

Interprétation des résultats d'observations, des essais et analyses sur les matériaux d'assise en enrobé :

Au vu des résultats d'essais et d'analyses obtenus sur matériaux enrobé au liant hydrocarboné constituant les diverses couches des chaussées de l'aérodrome de Timimoun.

3.5.4 Aérodrome de Tindouf

Selon le programme géotechnique, le L.T.P.O a procédé à l'exécution de douze sondages carottés de 5 m de profondeur, l'exécution de douze puits à ciel ouvert au droit de chaque sondage avec prélèvement d'échantillons aux fins d'analyses et essais. Cette investigation concernant le sol naturel a été réalisée suivant l'implantation définie par le plan de situation établie par le bureau d'étude.

De même sur les chaussées existantes et accotements et en complément à l'étude préliminaire de renforcement seuls des prélèvements carottés d'enrobés sur chaussée de l'ancienne piste d'envol, bretelles et parkings militaires avec exécution d'un essai C.B.R in-situ au droit de chaque prélèvement de carotte. De même des essais de plaques ont intéressé les accotements de l'ancienne piste tous les 200 m, ainsi que sur les extensions futures des parkings militaires et bretelles.

L'exécution de douze puits à ciel ouvert à proximité immédiate de chaque point de sondage, avec prélèvements d'échantillons aux fins d'analyses au laboratoire a permis de définir les propriétés physiques du sol au dessus de la dalle calcaire ainsi que ces performances mécaniques.

Chapitre 3 : Etude des sites

Vu la nature graveleuse du sol support, l'étude de performance mécanique s'est limitée à l'étude proctor-C.B.R avec parfois étude de module de déformation avant et après stabilisation à un cycle de chargement à la plaque \varnothing 300mm.

Les résultats d'essais dans leurs totalités classent le sol dans la catégorie A à haute résistance avec un indice C.B.R = 20.

Issue des emprunts aux abords immédiats de l'aérodrome, le matériau d'assise a été prélevé sur les accotements de la piste d'envol actuelle lors de la campagne de 1991. Des essais C.B.R in-situ ont été exécutés sur la couche d'assise juste en dessous du revêtement. Les résultats des essais au laboratoire donne en moyenne des performances mécaniques moyennes à l'optimum Proctor soit un indice C.B.R = 40 ; cet indice mesure in-situ dans les conditions locales et après humidification d'un quart d'heure lors carottage du revêtement, en moyenne est de l'ordre de C.B.R in-situ = 60 pour toute les aires revêtues.

Il est remarquable de constater que les courbes granulométriques dans leurs ensembles entrent dans le fuseau Saharien pour matériau d'assise, que les indice de plasticité oscillent autour de 11,4 avec un écart type de 3,56 sur 22 échantillons, les teneurs en eau optimums sont très faibles de l'ordre de 5% en moyenne et des densités O.P.M supérieures à 2 T/m³.

Ceci amène à confirmer l'aptitude permanente de l'assise de chaussée à jouer son rôle comme couche de fondation et de conserver son coefficient d'équivalence dans la structure de chaussée. L'épaisseur de l'assise n'a put être constaté sur le terrain un minimum de 20 cm pourrait être pris en considération. Les essais des plaques et de densité in-situ confirment la noblesse du matériau de fondation. En effet, malgré les faibles densités du matériau sur accotement, les modules de déformations restent très importants supérieurs à 1000 bars au premier chargement sous contrainte de 5 bars (plaque \varnothing 300 mm) et supérieur à 6000 bars au deuxième chargement dans les conditions de teneur en eau d'équilibre variant de 2% à 4%.

Chaussée en matériaux traités

Grave bitume 0/20 :

Utilisée en tant que couche de base ou couche de nivellement seulement sur l'ancienne piste d'épaisseur variable avec une moyenne de 7,6 cm d'épaisseur et un écart type de 2,29 cm sur 22 carottes prélevées avec une épaisseur minimale de 3 cm et maximale de 13 cm.

Chapitre 3 : Etude des sites

L'état de la couche de base est assez bon dans l'ensemble n'a affecté que les joints par conséquent une fissuration de retrait seulement.

Béton bitumineux 0/14 :

La couche de roulement en béton bitumineux intéresse l'ensemble des aires de mouvement et parkings, son épaisseur sur différentes aires se distingue comme suite :

OUVRAGE	NOMBRE DE PRELEVEMENT	EPAISSEUR MINIMALE	EPAISSEUR MAXIMALE	EPAISSEUR MOYENNE	ECART TYPE
ANCIENNE PISTE	11	3,5 cm	9,5 cm	6,16 cm	1,9 cm
BRETELLE P.M	1	4,8 cm	4,8 cm	4,8 cm	
PARKING MILITAIRE	4	5 cm	6 cm	5,45 cm	0,52 cm
PISTE PRINCIPALE	31	6 cm	9,5 cm	7,48 cm	0,92 cm
VOIE DE ROULEMENT	1			8,1 cm	
PARKING CIVIL	10	6,5 cm	8,3 cm	7,40 cm	0,56 cm

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.

Nous remarquons une très bonne tenue du béton bitumineux sur toutes les aires malgré les fissures des retraits des points et les faïençages sur la piste principale et le parking civil due aux fortes déflexions sans rupture (base et sol support élastique). Cette bonne tenue est due essentiellement au très bon accrochage entre le béton bitumineux et la grave naturelle. De même que la formulation adoptée par excès de liant et de filler (6% à 11% de bitume) et (6% à 9% de filler) a donné une certaine souplesse à la couche de roulement qui est la cause de sa grande durabilité.

Sol support :

L'homogénéité géologique dans toute l'emprise de l'aérodrome de Tindouf est constatée et caractérisé par un substratum rocheux à 2 m de profondeur en moyenne surmonté par une grave dont le mortier sablo-marneux est très peu plastique $IP \approx 12$ ce qui confère au sol support une certaine rigidité de par la présence du squelette minéral et une bonne cohésion dû au mortier calcaire marneux.

Par ailleurs, les granulométries dans leurs ensembles s'insèrent presque complètement dans les fuseaux Saharien attestant que le sol est facilement stabilisable.

Le squelette minéral est parfois et dans certaines zones assez faibles ce qui a par conséquent une résistance au poinçonnement assez atténuée parfois et très forts souvent avec indice C.B.R variant de 25 à 130 à une teneur en eau et une densité O.P.M.

Chapitre 3 : Etude des sites

Par ailleurs, les infrastructures existantes qui ont fait leur preuve avec une bonne tenue à l'exploitation et aux effets climatiques permettant d'indurer un indice C.B.R unique pour toute la plateforme aéroportuaire égale à 20.

$$I \text{ C.B.R sol support} = 20$$

Matériaux naturels d'assises :

Ils ont fait leurs preuves de puis une trentaine d'années de service puisqu'ils ont pu supporter des charges très contraignantes du Boeing 727 et ont même pour le rôle de couche de base sous des pressions de pneumatiques avoisinant les dix bars ! L'essai C.B.R in-situ dans les conditions d'équilibres de teneur en eau soit de 2% à 4% a été en moyenne $I \text{ C.B.R} = 80$ avec un minimum de 60. La granulométrie confère aux matériaux une classification d'une grave naturelle s'insérant dans le fuseau Saharien avec un mortier peu plastique $I.P = 12$ et un squelette minéral issue d'une roche calcaire à grésocalcaire de dureté moyenne Los Angeles 35.

En milieu désertique elle se comporte comme une grave concassée pour autant subir une usure par fatigue sa qualité structurelle est préservée dans le temps.

3.6 Dimensionnement

Nous avons vu que de nombreux matériaux naturels très réponsus et fréquemment existant sur l'emprise de l'ouvrage offrent des performances mécaniques qui permettent leur utilisation en assise de chaussée en fondation et couche de base. Par conséquent des critères de performances sont exigés pour les matériaux de différentes couches à savoir :

- Couche de fondation :

Une cohésion suffisante et un angle de frottement suffisant au niveau des contraintes exercées sur la couche de fondation sont traduits par un matériau granulaire de la famille 1,2 ou 3 avec un indice portant immédiat = 30 et une épaisseur minimale de 30 cm.

- Couche de base :

Une cohésion suffisante et un angle de frottement suffisant au niveau des contraintes exercées sur la couche de base sont traduits par un matériau granulaire de la famille 2 ou 3 avec un indice portant immédiat = 60 et après 3 jours à sec, supérieur à 100 et une résistance à la compression à densité et à teneur en eau O.P.M $R_c > 10 \text{ Kg/cm}^2$ et une R_c à sec supérieur à 30 Kg/cm^2 avec une épaisseur minimale de 20 cm.

- Couche de roulement :

En béton bitumineux d'épaisseur 8 cm en minimum permettant de supporter les efforts tangentiels et l'imperméabilisation du corps de chaussée.

Lorsque le sol support offre des résistances élevées au niveau des performances de la couche de fondation, il sera traité comme tel avec une scarification, humidification malaxage et compactage au-delà de la densité de référence aux résistances escomptées.

Lorsque le sol support offre des résistances à l'état naturel ou après stabilisation mécanique, des résistances élevées au niveau des performances d'une de couche de base il sera traité comme le cas d'une couche de fondation.

Chapitre 3 : Etude des sites

3.6.1 Dimensions des constituants de l'aérodrome d'Adrar

Les épaisseurs des carottages des chaussées sont récapitulées dans le tableau suivant :

	Piste principale	Bretelle	Parking
1 ^{er} carottage	54 cm	62 cm	66 cm
2 ^{eme} carottage	53 cm	57 cm	62 cm
3 ^{eme} carottage	57 cm	61 cm	57 cm

Source : LTPO, unité de Béchar, 2007.



Figure 3.8 : les carottes prélevées de la piste Figure 3.9 : les carottes prélevées du parking



Figure 3.10: les carottes prélevées des bretelles

Figure 3.11 : la place de la carotte après sondage

Source : LTPO Béchar, 2006.

3.6.2 Aéroport de Tindouf

Les épaisseurs des chaussées sont récapitulées dans le tableau suivant :

OUVRAGE	NOMBRE DE PRELEVEMENT	EPAISSEUR MINIMALE	EPAISSEUR MAXIMALE	EPAISSEUR MOYENNE	ECART TYPE
ANCIENNE PISTE	11	3,5 cm	9,5 cm	6,16 cm	1,9 cm
BRETELLE P.M	1	4,8 cm	4,8 cm	4,8 cm	
PARKING MILITAIRE	4	5 cm	6 cm	5,45 cm	0,52 cm
PISTE PRINCIPALE	31	6 cm	9,5 cm	7,48 cm	0,92 cm
VOIE DE ROULEMENT	1	8,1 cm	8,1 cm	8,1 cm	
PARKING CIVIL	10	6,5 cm	8,3 cm	7,40 cm	0,56 cm

Source : LTPO Béchar, 2007.

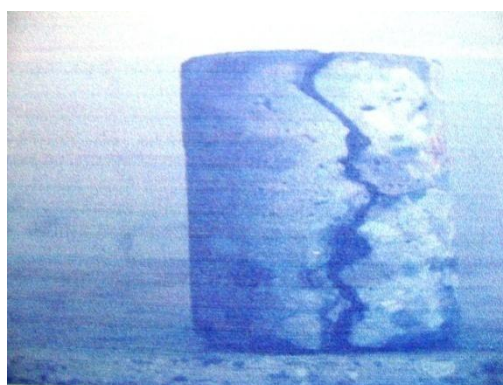


Figure 3.12: type de carottes prélevées de l'aéroport de Tindouf

3.7 Conclusion

Dans cette partie relative à l'étude de cas et analyse des aérodrômes du sud-ouest de notre pays telle que Adrar, Béchar, Timimoun et Tindouf, on peut dire selon les données climatologiques que ces derniers aérodrômes sont situés dans des zones désertiques et des milieux caractérisés par des sols asséchés en surface, ce qui rend à considérer leur comportement de façon rigide, et le climat désertique, considéré comme aride et sec, d'une pluviométrie de 50 millimètres par an, de température diurne maximale 60°C et une température nocturne minimale, hivernale qui descend au moins de 0°C, surtout Adrar et Timimoun, d'après le recueil climatologique édité par l'Office National de la Météorologie (ONM).

Ce gradient thermique constaté est très important ce qui influe considérablement sur le comportement et la dégradation de ces chaussées.

On a observé que les aperçus géologiques de chacune de ces zones qui se diffèrent d'une région à l'autre (rapport d'étude géologique et géotechnique LTPO Béchar). Ce qui nous pose le problème du choix de carrière de certaines régions, l'abondance des écoulements dans certaines régions ne rend pas utile leur prospection, car les spécifications des matériaux pour les couches des chaussées doivent être bien précises et qu'elles respectent le fuseau granulométrique saharien dit de Beni-Abbes, exigé à la suite d'une rencontre technique tenue à Beni-Abbes en 1964, ce fuseau est la base de la classification des matériaux utilisables en assises des chaussées (colloque de rencontre technique à Beni-Abbes 1964).

Les aérodrômes de Béchar, Adrar et Tindouf ont subi durant leurs vies des renforcements et des traitements de fissures par colmatages à la résine. En ce qui concerne l'aérodrôme de Timimoun, il a été récemment entretenu par un colmatage.

Chapitre IV

Relèves des dégradations dans les chaussées aéronautiques

4.1 Introduction

4.2 Relèves des dégradations dans les chaussées souples

4.2.1 Famille des fissures

4.2.2 La famille des arrachements

4.2.3 La famille des déformations

4.2.4 Autres dégradations

4.3 Relèves des dégradations dans les chaussées rigides

4.4 Analyse des dégradations dans les chaussées souples

4.4.1 Famille des fissures

4.4.2 Famille des arrachements

4.4.3 Famille des déformations

4.4.4 Autres dégradations

4.5 Analyse des dégradations dans les chaussées rigides

4.5.1 Dégradations de structure

4.5.2 Dégradations de surface

4.5.3 Dégradation de joint

4.5.4 Autres dégradations

4.6 Les causes probables et conséquences (Chaussées souples)

4.6.1 Famille de fissures

4.6.2 Famille des arrachements

4.6.3 Famille des déformations

4.6.4 Autres dégradations

4.7 Les causes probables et conséquences (Chaussées rigides)

4.7.1 Dégradation de structure

4.7.2 Dégradation de surface

4.7.3 Dégradation de joint

4.7.4 Autres dégradations

4.8 Conclusion

4.1 Introduction

Vu la grande importance qu'a l'aérodrome, comme tout autre ouvrage, il devrait être maintenu régulièrement et à cet effet, et en vue d'évaluer l'état actuel de la chaussée aéronautique et son niveau de dégradation, nous avons jugé utile et primordiale de procéder à une étude d'auscultation visuelle des dégradations constatées sur la chaussée de notre aérodrome.

L'investigation visuelle consiste à faire un relevé visuel par des ingénieurs qui parcourent tous les aires de manœuvres afin de lister toutes les dégradations qui affectent ces aérodromes.

4.2 Relèves des dégradations dans les chaussées souples

Chaussées souples et Dégradations

On appelle chaussées souples, les chaussées constituées principalement de couches de matériaux traités aux liants hydrocarbonés (matériaux bitumineux) qui reposent sur des couches de matériaux non traités. Le dimensionnement de ce type de chaussées est basé sur l'hypothèse que l'endommagement de la chaussée proviendrait de la rupture du sol support.

Il existe deux types de dégradations

a) Dégradations révélant un défaut de structure

- ✓ Flache
- ✓ Ornière
- ✓ fissure de fatigue
- ✓ Faïençage de fatigue
- ✓ Déformation en W
- ✓ Gonflement
- ✓ Tassement différentiel
- ✓ Remontée d'eau
- ✓ Remontée de fines

b) Dégradations révélant un défaut de surface

- ✓ Désenrobage - Brûlure
- ✓ Enrobé poreux
- ✓ Fissure de joint
- ✓ Fissure de retrait
- ✓ Faïençage de retrait
- ✓ Réparation dégradée
- ✓ Contamination
- ✓ Dépôt de gomme
- ✓ Poinçonnement
- ✓ Fissure parabolique
- ✓ Nid de poule
- ✓ Pelade

D'après nos visites des sites, nous avons constaté ce qui suit :

4.2.1 Famille des fissures

a) Adrar

Fissure de joint

C'est une Fissure située sur un joint.

Il faut entendre par « joint » le raccordement longitudinal entre deux bandes de répannage de la couche de roulement, ou transversal à la reprise de bande.

Par extension, cela peut désigner également la délimitation entre zones de structures différentes.



Figure 4.1 : Fissure de joint d'un niveau élevé



Figure 4.2 : Fissure de joint

Ces fissures ont été constatées au niveau du joint de la chaussée, elles ont été dues aux jonctions des bandes de la chaussée au cours de la réalisation. Quelques fissures ont été colmatées lors des entretiens périodiques précédentes.

Fissure de retrait

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

Par extension au cas des chaussées en dalles de béton de ciment renforcées en enrobés, fissure située au droit des joints de dalles.



Figure 4.3 : Fissure de retrait élevé

Nous avons constaté ce type de fissures selon la largeur de la chaussée de la piste. Ces fissures apparaissent avec un degré de gravité très important (figure 4.3) et avec un degré de gravité moyen et elles s'accompagne avec un tassement de la chaussée.

Faïençage de retrait

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



Figure 4.5 : Faïençage de retrait avec un degré moyen

Ces fissures ont touchées la plupart des zones de la chaussée de la piste (figure 4.5) et même quelque zone des bretelles et de l'aire de stationnement. On a vues qu'elles présentent des mailles de formes rectangulaires de largeurs attient des fois les 2,5 m et des longueurs variables. On a observé que ces faïençages ont été colmatés lors des entretiens périodiques précédents.

b) Béchar

Fissure de fatigue

Fissure longitudinale apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs.

Elle est souvent accompagnée de fissures transversales à intervalle aléatoire et d'une dépression.



Figure 4.5 Fissure de fatigue

On a constaté que la chaussée est infectée par ces fissures le long de l'axe de la chaussée de la piste principale (figure 4.5), ce même type de fissure se trouve dans le sens transversal de la chaussée, ce qui influe sur l'aspect confort des usagers et met en jeu la sécurité des aéronefs on peut le considérer comme un danger émanant mettant la chaussée hors usage. Elles sont très importantes et évidentes avec une profondeur et une ouverture vue à l'œil nue.

Faïençage de retrait

Il s'agit d'un ensemble de fissures plus ou moins rapprochées, formant un maillage. Les causes en sont la fatigue de la couche de roulement ou de la totalité de la chaussée, due à une structure insuffisante vis-à-vis du trafic supporté, ou à une portance insuffisante du sol. Il évolue sous la forme d'une ouverture progressive des fissures, puis vers un arrachement des matériaux et des déformations. En cas de faïençage fin (fissures de moins de 2 mm d'ouverture), il n'existe aucune technique d'entretien courant ; dans le cas contraire, il faut envisager un scellement et une imperméabilisation de surface.



Figure 4.6 : Faïençage généralisé et dépôt de gomme

c) Timimoun

Fissure de joint

Il s'agit d'une ouverture apparaissant sous forme de fissure rectiligne au raccordement de deux bandes d'enrobé (joint longitudinal) ou à une reprise d'une bande d'enrobés (joint transversal). Les causes en sont le mauvais accrochage initial entre les deux bords du joint – faute de réchauffage ou de badigeonnage – ou, dans le cas contraire, le vieillissement du liant sous l'effet des variations de température. Elle évolue vers l'épaufrure des bords de joint, ce qui facilite la pénétration d'eau et peut entraîner – sous l'effet du trafic – un décollement partiel de l'enrobé. Elle peut également évoluer vers le faïençage, le nid de poule ou la pelade.



Figure 4.7 : Fissure de joint

Nous avons constaté ce type de fissures le long de la piste, la figure 4.7 représente la fissure de joint colmatée dans la zone de bretelle, mais avec un degré de gravité léger. L'effet des variations de température est la cause primordiale de leurs apparitions et il a été totalement colmaté lors des entretiens périodiques.

Fissure de retrait

Il s'agit d'une cassure de la chaussée rejoignant deux bordes adjacentes. Elle évolue vers l'épaufrure et les faïençages, flache et départ de matériaux.



Figure 4.8 Fissure de retrait

On a observé ce type de fissures sur quelques zones des bords de la chaussée de la piste avec un degré de gravité léger suivant une ligne courbée (figure 4.8), il faut entretenir la chaussée à temps afin d'éviter le développement de cette fissure qui ennuieras l'utilisation et évoluera vers les faïençages et départ de matériaux. On constate que ces fissures ont été colmatées lors des entretiens périodiques.

Fissure de fatigue

Ce type de fissures apparaît généralement le long de l'axe de la piste selon les tracés des atterrisseurs. Fissure longitudinale apparaissant généralement dans les traces des atterrisseurs.

Elle est souvent accompagnée de fissures transversales à intervalle aléatoire et d'une dépression.



Figure 4.9 Fissure de fatigue

On a constaté ce type de fissure dans des zones limitées de la piste, ces fissures généralement apparaissant dans les traces des atterrisseurs comme est défini sur figure 4.9. Il peut y avoir un départ léger des granulats dans le cas où la chaussée subira une charge au-delà de sa portée, ce qui mettra la chaussée en état critique ce qui n'est pas le cas ici.

4.2.2 La famille des arrachements

a) Adrar

Désenrobage – Brûlure

Il s'agit du départ de mastic (liant et fines) autour des granulats d'une couche de roulement en enrobés. Les causes en sont le vieillissement du liant, la ségrégation de l'enrobé dans l'axe du finisseur grande largeur, la reprise manuelle locale à l'exécution créant un point singulier, l'action des sels de déverglaçage, la propreté des granulats ou du sable, la mauvaise adhésion granulat-liant, le brûlage de l'enrobé (température d'enrobage supérieure au seuil critique) ou encore le défaut de compactage. Il évolue en surface et en profondeur, jusqu'à la pelade.



Figure 4.10 : désenrobage

Il est à dire que ce type de dégradation infecte la totalité des chaussées de l'aérodrome. On voit que les granulats sont désenrobés (sans pellicule du liant) on voit que sur la figure 4.10 que ce type de dégradation est avec un degré de gravité très élevé, séparation du mastic (liant ± fines) et des granulats avec départs de ces derniers.

b) Béchar

Désenrobage

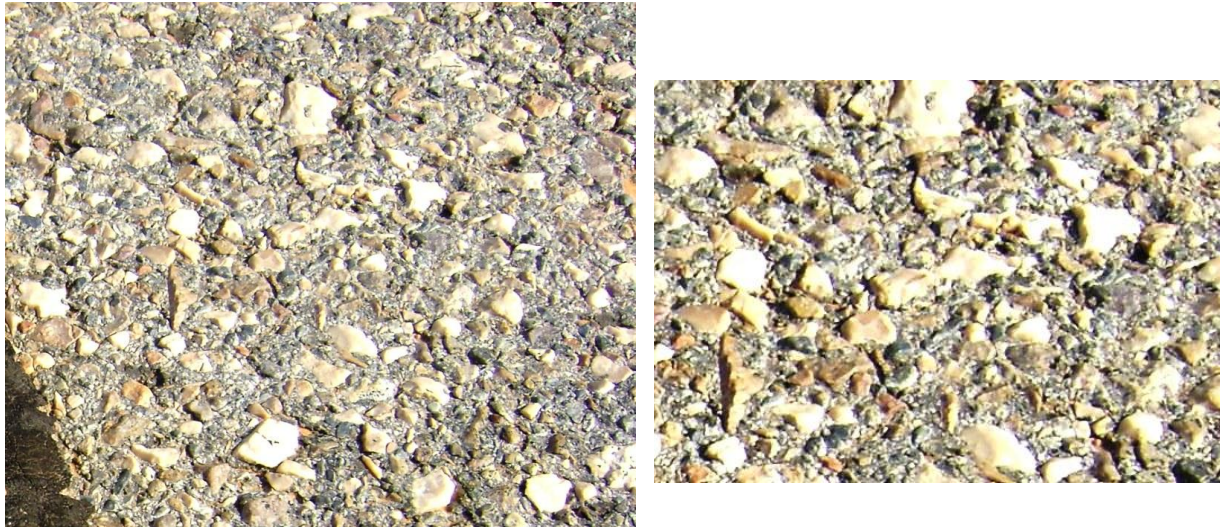


Figure 4.11 : Désenrobage

Ce type de dégradation a touché toutes les zones des chaussées de l'aérodrome on voit que le départ des granulats. On voit que l'impropre des granulats est la cause de la mauvaise adhésion granulat-liant qui a provoquer le départ de ces derniers, ce qui a rendu la chaussée défectueuse, dans ce type de cas le gestionnaire doit attirer l'alarme afin d'éviter tout sort de risque qui peut atteint les aéronefs et nui le confort des usagers puisque la dégradation vas évoluer en surface et en profondeur comme le cas qui apparaît sur la figure 4.19.

c) Timimoun

Désenrobage



Figure 4.12 Désenrobage

On a constaté que ce type de dégradation a touché quelques zones de chaussée de l'aérodrome avec un degré de gravité léger (figure 4.12).

4.2.3 La famille des déformations

a) Adrar

Gonflement – Bourrelet

Il s'agit du renflement apparaissant de manière sensiblement perpendiculaire à l'axe de la chaussée. Le bourrelet cause en est la mise en compression par dilatation thermique au niveau d'une fissure transversale et le sou- transversal lèvement superficiel de la couche de roulement. Ce phénomène peut résulter de grands espacements entre les fissures transversales, ou la mise en œuvre de matériaux à prise rapide suivie de très fortes températures les jours suivant la prise. Il évolue vers une fissuration et/ou des arrachements de la couche de roulement, ainsi que par un défaut d'uni longitudinal.

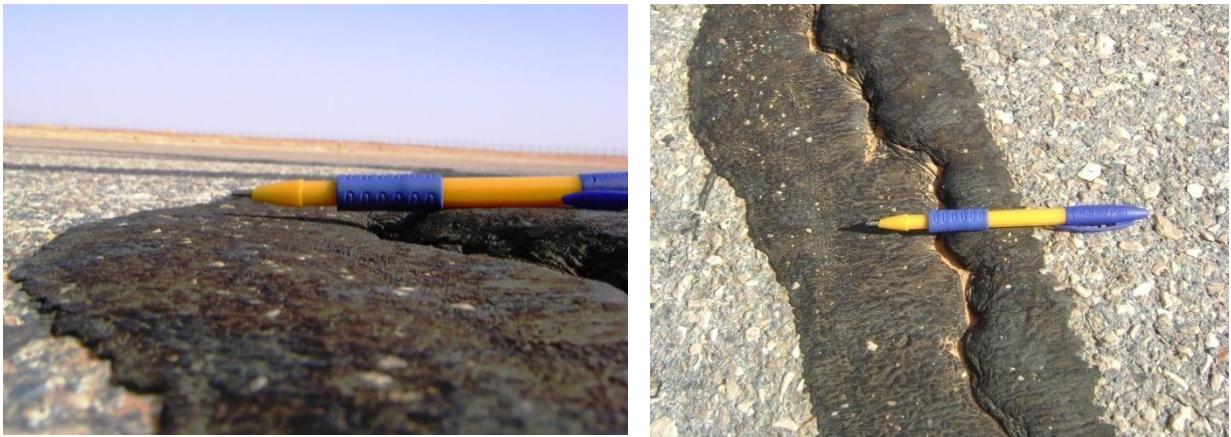


Figure 4.13 : Gonflement - Bourrelet

On a constaté que ce type de déformation a touché le long de l'axe longitudinal de la piste. On observe aussi un certain dénivelé (figure 4.13). Renflement de la structure dans le profil en long ou le profil en travers.

b) Béchar

Ornière – Frayée

Dépression longitudinale de faible rayon transversal, apparaissant dans les traces des atterrisseurs et éventuellement accompagnée d'un fluage des enrobés se matérialisant par un bourrelet en bordure de la déformation.

Elle se rencontre généralement sur les postes de stationnement « nez dedans » et sur les voies de circulation.



Figure 4.14 : Ornières

On a trouvé que ce type de déformation a touché les zones d'atterrissage et de décollage et les voies de circulations, accompagné d'un fluage. Il s'agit d'un tassement en pleine chaussée sous le passage des roues des aéronefs (figure 4.14). Les causes sont soit la fatigue de la chaussée par tassement des couches inférieures due à un défaut de portance du sol (dans le cas d'un orniérage à grand rayon) soit une mauvaise stabilité d'un enrobé mou dans les fortes pentes ou rampes, ou encore dans les zones de freinage (dans le cas d'un orniérage à petit rayon). Il évolue vers un faïençage dans les ornières et la constitution de bourrelets (grand rayon), ou vers une augmentation de la profondeur (petit rayon) (figure 4.24). Les

principales techniques d'entretien sont le reprofilage dans les ornières avec des matériaux bitumineux (orniérage inférieur à 5 cm), le rechargement (orniérage supérieur à 5 cm) et le fraisage des bourrelets.

c) Timimoun

Gonflement – Bourreler



Figure 4.15 : Gonflement / Bourrelet

On a rencontré ce type de déformation seulement dans l'axe transversal de la piste et avec une longueur limitée (figure 4.15). Malgré ça, cette dégradation est la plus attirante le long de la piste. Mais du faite que le degré de gravité de cette dégradation est léger, l'influence reste très faible sur la rentabilité de la piste, ce qui permet au chaussée de rester en service dans des conditions normales.

4.2.4 Autres dégradations

a) Adrar

Dépôt de gomme

Dépôt de caoutchouc localisé dans la zone de toucher des roues.



**Figure 4.16 : Dépôt de gomme
niveau élevé.**

On a observé que le dépôt de gomme est très important et qu'il touche toute la zone d'atterrissage (figure 4.16).

Réparation ponctuelle dégradée

Réparation ponctuelle, quel que soit son origine, à l'exception des scellements de fissures, concernant une fraction de dalle supérieure ou égale à 0,5 m² et présentant des dégradations sur sa surface ou son contour.



**Figure 4.17 : Réparation ponctuelle dégradée
Dépôt du sable dans le joint**

On a vu que pratiquement toutes les dégradations renaissent après qu'ont été réparées dans cet aéroport, et que les joints des réparations ont été remplis du sable (figure 4.17).

b) Béchar

Dépôt de gomme



Figure 4.18 : Dépôt de gomme

La totalité de la zone de l'atterrissage est touchée par ces dépôts de gomme avec un degré de gravité moyen (figure 4.18).

c) Timimoun

Dépôt de gomme



Figure 4.19 : Dépôt de gomme

On a constaté un léger dépôt de gomme le long de l'axe de la piste qui ne présente pas un degré de gravité sensible (figure 4.19).

Réparation ponctuelle dégradée

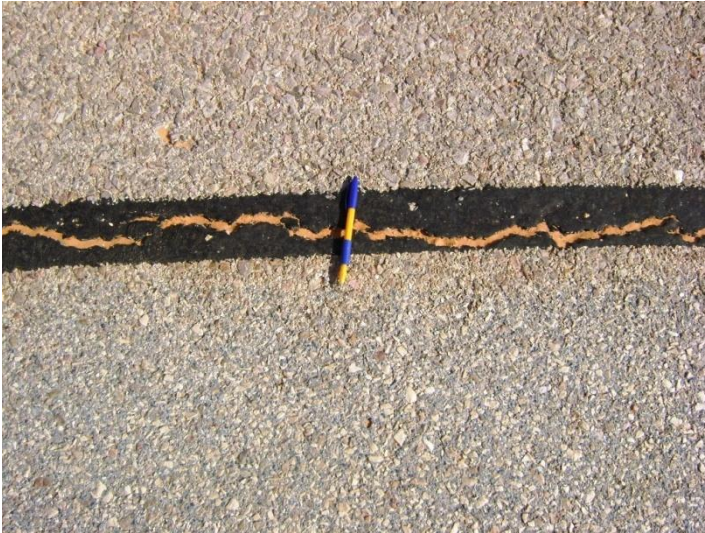


Figure 4.20 : Réparation ponctuelle dégradée

Ce type de dégradation a été observé seulement sur la bretelle et sur l'axe de la piste avec une longueur limitée (figure 4.20) non contraignante à la sécurité des mouvements des aéronefs.

4.3 Relèves des dégradations dans les chaussées rigides

Chaussées rigides et Dégradations

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

La nature du béton hydraulique fait que la rigidité des dalles qui constituent la partie supérieure de la chaussée protège le sol support des sollicitations mécaniques. La rupture de la chaussée s'amorce en premier lieu dans la dalle par excès de contraintes.

Il existe deux types de dégradations

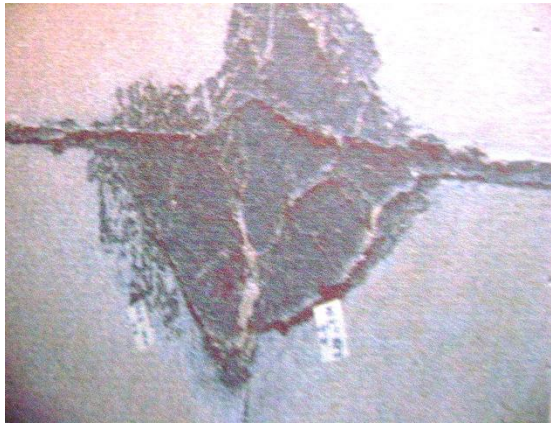
- a) Dégradations révélant un défaut de structure
 - ✓ Fissure
 - ✓ Fracture
 - ✓ Fissure de coin
 - ✓ Pompage
 - ✓ Décalage Marche
- b) Dégradations révélant un défaut de surface
 - ✓ Epaufrure
 - ✓ Faiçonnage –écaillage
 - ✓ Réparation ponctuelle dégradée
 - ✓ Défaut de joint
 - ✓ Dépôt de gomme

Béchar

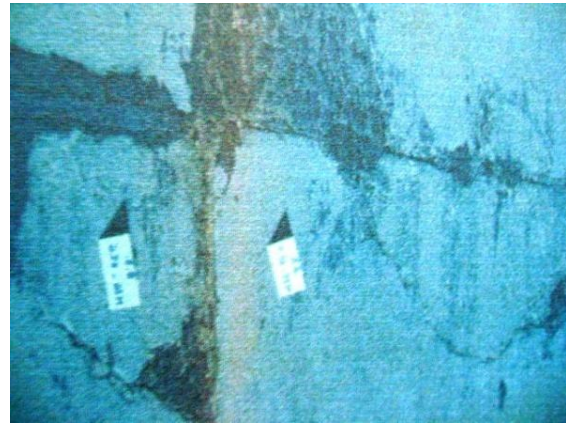
Dégradations de structure

Fissure en coin – Cassure d’angle :

Rupture de la dalle en deux morceaux, les intersections de la fissure avec les bords de la dalle étant situées dans le quart de dalle adjacent au coin considéré.



**Figure 4.21 : Cassure d’angle grave
Avec réparation ponctuelle (bout bétonné 01)**



**Figure 4.22 : Cassure d’angle et épaufrure élevée
avec réparation ponctuelle (parking)**



**Figure 4.23 : Cassure d’ange élevée
(bout bétonné N°19)**

Il s’agit d’une cassure de dalle rejoignant deux côtés adjacents et située à moins de 50 cm du coin de dalle (figure 4.21). Les causes en sont le sciage tardif, le mauvais appui du coin de dalle ou le piège à eau en bordure de dalle résultant d’un battement de joint transversal (figure 4.22 et 4.23). Elle évolue vers l’épaufrure ; le coin peut se fragmenter en plusieurs morceaux, et un départ de matériau peut s’ensuivre.

Fissure (longitudinale, transversale, oblique) :

Rupture de la dalle en deux morceaux sauf si celle-ci concerne un coin de dalle.



Figure 4.24 : Fissure élevée avec carottage existant (bout bétonné N°01)



Figure 4.25 : Fissure élevée (parking)

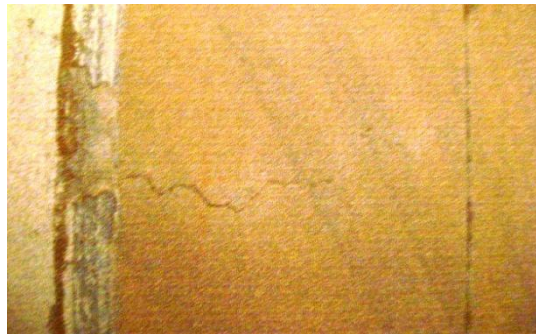


Figure 4.26 : Fissure élevée (bout bétonné N°19)

Il s'agit de fissures longitudinales et transversales se rejoignant pour former un réseau ou un maillage de mailles inférieures à 2 m. La cause en est l'évolution de l'endommagement par excès de contraintes de traction-flexion à la base des couches d'assise traitées aux liants hydrauliques (figure 4.24 et 4.25). Elle évolue vers un découpage en dalles de plus en plus petites, le départ de matériaux aux lèvres des fissures, l'apparition de nids de poule, le faïençage en angle des dalles (selon l'épaisseur de la couche de roulement), le décollement et/ou l'arrachement de la couche de roulement, et enfin le rejet de fines de pompage (figure 4.26).

Dégradation de surface :

Epaufrure :

Bris du bord de la dalle en coin ou en partie courante à moins de 30 cm du joint ; généralement cette dégradation affecte simplement une partie de l'épaisseur de la dalle.



**Figure 4.27 : Epaufrure graves
(bout bétonné N°01)**



**Figure 4.28 : Epaufrure graves
(parking)**



**Figure 4.29 : Epaufrure de degrés
moyen (bout bétonné N°19)**

Il s'agit de fissurations longitudinales et transversales se rejoignant pour former un réseau ou un maillage. La cause en est l'évolution de l'endommagement par excès de contraintes en traction-flexion à la base des dalles. L'origine de cet excès de contrainte est une sous-épaisseur des dalles associée à une portance insuffisante du support (figure 4.29). Elle évolue vers la fragmentation en dalles de plus en plus petites, ainsi que vers l'affaissement de ces dalles (figure 4.27 et 4.28).

Faïençage – Ecaillage :

Faïençage : Ensemble de petites fissures formant un maillage serré affectant la surface de la dalle pouvant évoluer vers l'écaillage.



Figure 4.30 : Ecaillage d'un degré moyen (bout bétonné N°01)



Figure 4.31 : Ecaillage d'un degré élevé (parking)



Figure 4.32 : Ecaillage d'un degré élevé (bout bétonné N°19)

Il s'agit de la désintégration superficielle localisée de la surface de béton. Les causes en sont la compression d'un point dur dans le joint, le feuilletage à la mise en œuvre, le ragréage à la construction (figure 4.30 et 4.31), les chocs mécaniques ainsi que les chocs thermiques sur pistes aéronautiques.

Il évolue vers une augmentation de la surface concernée, et éventuellement un approfondissement dans le cas de chocs thermiques (figure 4.32).

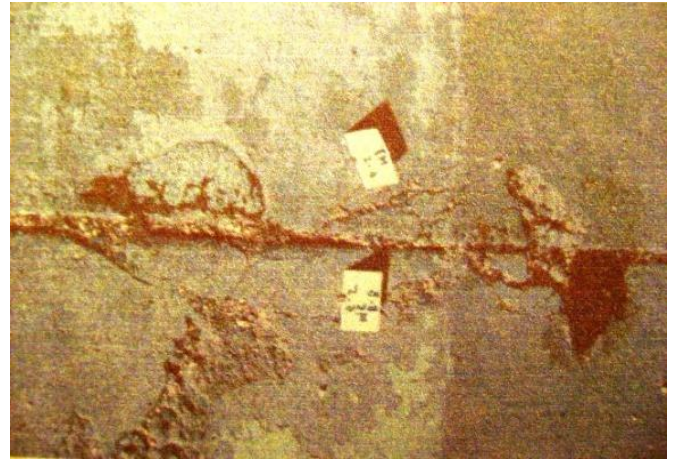
Dégradations de joint :

Défaut de joint :

Le joint est défectueux lorsqu'il n'assure plus la fonction d'étanchéité.



**Figure 4.33 : Défaut de joint
(bout bétonné N°01)**



**Figure 4.34 : Défaut de joint
(bout bétonné N°19)**



**Figure 4.35 : Défaut de joint
(parking)**

Il s'agit d'une dénivellation verticale entre les deux lèvres d'un joint de dalle ou de bord de fissure. Les causes en sont le mauvais transfert de charges au niveau des joints transversaux et la portance insuffisante du sol support (figure 4.33 et 4.34). Il évolue vers une épaufrure des lèvres des joints figure 4.35).

Autres dégradations :

Dépôt de gommes :

Dépôt de caoutchouc localisé dans la zone de toucher des roues.



Figure 4.35 : Dépôt de gommes

4.4 Analyse des dégradations

4.4.1 Famille des fissures

Fissure de joint

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non de ramifications ;
- l'existence ou non de départs de matériaux.

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départs de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la longueur (en m) du cheminement apparent pour chaque niveau de gravité.

Une fissure ne présentant pas le même niveau de gravité sur toute sa longueur sera découpée en tronçons.

Par exemple, une fissure ayant 25 m de long peut avoir 5 m classés en niveau élevé, 10 m en niveau moyen et 10 m en niveau léger. Les trois tronçons ainsi définis seront enregistrés séparément.

Fissure de retrait :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non de ramifications ;
- l'existence ou non de départs de matériaux.

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départs de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la longueur (en m) du cheminement apparent pour chaque niveau de gravité. Une fissure ne présentant pas le même niveau de gravité sur toute sa longueur sera découpée en tronçons.

Par exemple, une fissure ayant 25 m de long peut avoir 5 m classés en niveau élevé, 10 m en niveau moyen et 10 m en niveau léger. Les trois tronçons ainsi définis seront enregistrés séparément.

Faïençage de retrait :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Le niveau de gravité est évalué à partir de la fissure constitutive la plus grave, à savoir :

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départs de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation.

Fissures de fatigue :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non de ramifications ;
- l'existence ou non de départs de matériaux.

Niveau léger: fissure simple d'ouverture inférieure à 5 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure simple d'ouverture supérieure à 5 mm ou fissure avec ramifications sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départs de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la longueur (en m) du cheminement apparent pour chaque niveau de gravité.

Une fissure ne présentant pas le même niveau de gravité sur toute sa longueur sera découpée en tronçons.

Par exemple, une fissure ayant 25 m de long peut avoir 5 m classés en niveau élevé, 10 m en niveau moyen et 10 m en niveau léger. Les trois tronçons ainsi définis seront enregistrés séparément.

4.4.2 Famille des arrachements

Désenrobage :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Niveau léger: déchaussement de granulats avec départs légers

Niveau moyen: départs importants de granulats

Niveau élevé: départs massifs de granulats

Cette dégradation est mieux mise en évidence lorsque le revêtement est humide.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation.

4.4.3 Famille des déformations

Gonflement – Bourrelet :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité)

Les niveaux de gravité dépendent de la nature de la chaussée. Ils s'établissent en fonction de la hauteur maximale h mesurée sous la règle de 3 m centrée sur la dégradation. La règle se place perpendiculairement à la direction générale de celle-ci et parallèlement à la pente moyenne de la chaussée.

Niveau de gravité	Piste ou bretelle grande vitesse (cm)	Voie de circulation ou aire de stationnement (cm)
Léger	$h \leq 1$	$1 < h \leq 2$
Moyen	$1 < h \leq 2$	$2 < h \leq 4$
Elevé	$h > 2$	$h > 4$

Relevé quantitatif

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) qui encadre le gonflement. Les gonflements apparaissent plus nettement par lumière rasante.

Ornière – Frayée :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de la profondeur maximale sous la règle de 3 mètres posée transversalement sur la dégradation, indépendamment de la nature de la chaussée.

Niveau léger: profondeur inférieure ou égale à 1 cm

Niveau moyen: profondeur supérieure à 1 cm et inférieure ou égale à 2 cm

Niveau élevé: profondeur supérieure à 2 cm

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation. Il est préférable de profiter d'une pluie pour localiser cette dégradation.

4.4.4 Autres dégradations

Dépôts de gommes :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Le niveau de gravité dépend du rapport entre la surface affectée par la dégradation (voir relevé quantitatif) et la surface de la maille du relevé. Il sera apprécié lors de l'exploitation du relevé.

Relevé quantitatif :

Le paramètre à mesurer est la surface (en m²) du rectangle qui encadre la dégradation.

Réparation ponctuelle dégradée :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité)

Le niveau de gravité est pris égal au niveau le plus élevé rencontré parmi les dégradations figurant à la surface de la réparation et sur son contour.

Relevé quantitatif

Le paramètre à mesurer est la surface cumulée (en m²) des réparations de mêmes niveaux de gravité par maille de relevé.

4.5 Analyse des dégradations dans les chaussées

4.5.1 Dégradations de structure

Fissure en coin – Cassure d'angle :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non d'épaufrures ;
- l'existence ou non de départs de matériaux.

Niveau léger: fissure non épaufrée d'ouverture inférieure ou égale à 2 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure non épaufrée d'ouverture supérieure à 2 mm ou fissure épaufrée sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départs de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

L'unité de relevé est la dalle.

Fissure (longitudinale, transversale, oblique) :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction de :

- l'ouverture de la fissure ;
- la présence ou non d'épaufrures ;
- l'existence ou non de départs de matériaux.

Niveau léger: fissure non épaufrée d'ouverture inférieure ou égale à 2 mm ou fissure bien réparée

Niveau moyen: fissure non épaufrée d'ouverture supérieure à 2 mm ou fissure épaufrée sans départ de matériaux

Niveau élevé: fissure avec départs de matériaux

Le dépistage de cette dégradation se trouve facilité après une averse.

Relevé quantitatif :

L'unité de relevé est la dalle. Une dalle est comptée fissurée même si la fissure ne concerne pas toute la longueur (ou largeur) de la dalle.

4.5.2 Dégradations de surface

Epaufrure :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Les niveaux de gravité sont fonction à la fois de la longueur de la dégradation, de son degré de fragmentation et de l'existence ou non de départs de matériaux.

Ils sont déterminés de la façon suivante :

n: nombre de morceaux composant la dégradation

Longueur de la dégradation	Sans départ de matériaux		Avec départ de matériaux
	$n \leq 3$	$n > 3$	
$l \leq 60$ cm	L	L	E
$l > 60$ cm	L	M	E

Relevé quantitatif

L'unité de relevé est la dalle. Une dalle « épaufrée » est comptée avec le niveau de gravité le plus élevé de ses épaufrures.

Ex: une dalle présentant deux épaufrures de niveaux L et une épaufrure de niveau E est relevée « dalle épaufrée de niveau E ». Si elle comporte également des fissures, elle est comptée comme dalle « fissurée » (ou « fracturée ») et dalle « épaufrée ».

Faïençage – Ecaillage :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Niveau léger: faïençage

Niveau moyen: écaillage sur une surface totale inférieure ou égale à 1 m²

Niveau élevé: écaillage sur une surface totale supérieure à 1 m²

Relevé quantitatif :

L'unité de relevé est la dalle.

Dans le cas où la dalle comporte plusieurs zones « faïencées » ou « écaillées » de niveaux de gravité différents, celle-ci est comptée une seule fois avec le niveau de gravité le plus élevé d'entre eux.

4.5.3 Dégradation de joint

Défaut de joint :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Il n'est considéré que deux joints par dalle (pour éviter de relever le même joint sur deux dalles adjacentes).

Ces deux joints sont consécutifs sur le périmètre de la dalle observée.

Les niveaux de gravité sont établis de la façon suivante :

Niveau léger: quelques défauts ponctuels (tels que vieillissement ou décollement) sur moins de la moitié de la longueur de joint

Niveau moyen: quelques défauts ponctuels (tels que vieillissement ou décollement) sur plus de la moitié de la longueur de joint

Niveau élevé: fissuration ou décollement systématique, arrachements

Relevé quantitatif :

L'unité de relevé est la dalle.

4.5.4 Autres dégradations

Dépôt de gommes :

Relevé qualitatif (niveaux de gravité) :

Le niveau de gravité est fonction du nombre de dalles affectées par la dégradation rapportée au nombre total de dalles par maille de relevé. Il sera apprécié lors de l'exploitation du relevé.

Relevé quantitatif :

L'unité de relevé est la dalle. La dalle est comptée si elle est recouverte sur au moins 1 m².

4.6 Les causes probables et conséquences (Chaussées souples)

4.6.1 Famille de fissures

Fissure de joint

Causes possibles :

- défaut de mise en œuvre de la couche de roulement (bord de la première bande trop froid, compactage insuffisant du joint, mauvais collage entre bandes lors d'une reprise de répandage en particulier)
- discontinuité de structure (souple et rigide).

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départs de matériaux.

Fissure de retrait :

Causes possibles :

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

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départs de matériaux.

Faïençage de retrait :

Cause :

- effets thermiques dans la couche de roulement.

Contrairement au faïençage de fatigue, cette dégradation ne décèle pas un défaut de portance.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départs de matériaux ;
- faïençage de fatigue.

Fissure de fatigue :

Causes possibles :

- fatigue avancée de la chaussée ou sous-dimensionnement d'une ou plusieurs couches ;

- diminution de portance du sol support (drainage déficient, défaut d'étanchéité de la surface) ;
- mauvais mode de fonctionnement de la structure (couches décollées...) ;
- qualité médiocre de certains matériaux.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départs de matériaux ;
- faïençage de fatigue.

4.6.2 Famille des arrachements

Désenrobage – Brûlure :

Causes possibles :

- vieillissement du liant ;
- mise en œuvre sous conditions météorologiques défavorables ;
- actions physico-chimiques dues aux méthodes de déglçage (produits chimiques, thermosoufflage) ou aux méthodes de dégomme ;
- stagnation d'eau sur la chaussée ;
- brûlures dues au souffle des réacteurs.

Conséquences et évolution :

- altération de l'étanchéité ;
- nid-de-poule.

4.6.3 Famille des déformations

Gonflement – Bourrelet :

Causes possibles :

- fluage des enrobés sous des efforts tangentiels importants (freinage ou impact des avions) ;
- gélivité ou propriétés gonflantes du sol support ;
- dilatation thermique des couches sous-jacentes (dalles en béton hydraulique, assises traitées...) avec pénétration de matériaux incompressibles dans les joints ou les fissures empêchant tout retour à l'état initial;
- effets thermiques sur des couches de surface aux raccords de structures de natures différentes (poussée de dalles en béton hydraulique sur couche de roulement en enrobés...).

Conséquences et évolution :

- altération de l'uni ;
- décollement des couches avec accumulation d'eau et risque de dégradation par le gel ;
- perte de cohésion des couches de chaussée ;
- fissuration.

Ornière – Frayée :

Causes possibles

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

Conséquences et évolution

- altération de l'uni ;
- rétention d'eau pouvant entraîner une diminution de l'adhérence et un risque d'aquaplanage (cas des pistes) ;
- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- fissuration et faïençage de fatigue.

4.6.4 Autres dégradations

Dépôt de gomme :

Cause :

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

Conséquence et évolution :

- altération de l'adhérence ;
- diminution de la visibilité des balisages diurnes et nocturnes.

Réparation ponctuelle dégradée :

Cause :

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

L'examen du type des dégradations apparaissant à sa surface permet de mieux cerner la nature du défaut (se référer pour cela au paragraphe « causes possibles » de la dégradation rencontrée).

Conséquences et évolution :

Elles sont identiques à celles qui prévalent pour les dégradations apparaissant à la surface de la réparation.

4.7 Les causes probables et conséquences (Chaussées rigides)

4.7.1 Dégradation de structure

Fissure en coin – Cassure d'angle :

Cause :

- mauvaises conditions d'appui de la dalle et de transfert de charge combinées à la répétition des charges.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- modification des conditions de fonctionnement de la dalle (transfert de charge) ;
- affaissement localisé, d'où altération de l'uni et de l'adhérence (rétention d'eau) ;
- départs de matériaux.

Fissure (longitudinale, transversale, oblique) :

Causes possibles :

- portance insuffisante (épaisseur trop faible de la dalle, résistance insuffisante du béton à la traction...);
- dégradation des conditions d'appui de la dalle (tassement ou érosion du sol de fondation) ;
- sciage trop tardif des joints à la mise en œuvre (fissure transversale) ;
- saignée pour balisage axial favorisant l'effet d'entaille sous fortes sollicitations, telles celles exercées par le B747 (fissure longitudinale) ;
- dimensions excessives de la dalle par rapport à son épaisseur donnant lieu à des contraintes thermiques importantes.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- modification des conditions de fonctionnement de la dalle (perte de portance) ;
- altération de l'uni (fissure transversale) ;
- départs de matériaux ;
- fracture.

4.7.2 Dégradation de surface

Epaufrure :

Causes possibles :

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

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- départs de matériaux.

Faïençage – Ecaillage :

Causes possibles :

- défaut de mise en œuvre (remontées de laitance) ;
- effets thermiques (variation de température, gel dégel) ;
- chocs thermiques (thermosoufflante, réacteurs) ;
- produits déglaçants.

Conséquences et évolution :

- porosité du béton néfaste dans les régions soumises au gel ;
- altération de l'uni ;
- départs de matériaux.

4.7.3 Dégradation de joint

Défaut de joint :

Causes possibles :

- défaut du produit pour joint (vieillessement, durcissement, mauvaise adhérence, décollement, incompatibilité entre produits...)
- défaut de mise en œuvre (nettoyage insuffisant du corps de joint avant application du produit, rapport incorrect entre la largeur et la profondeur du joint, absence de fond de joint) ;

- actions thermiques, chimiques et mécaniques diverses (souffle des réacteurs d'avions, thermosoufflage, kérosène, acides...);
- arrachement du produit pour joint.

Conséquences et évolution :

- infiltration d'eau dans le corps de chaussée ;
- accumulation de cailloux, de terre ou de végétation ;
- risque d'épaufrures.

4.7.4 Autres dégradations

Dépôt de gomme

Cause :

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

Conséquence et évolution :

- altération de l'adhérence ;
- altération de la visibilité du balisage diurne et nocturne.

4.8 Conclusion

Les natures des fissurations observées en surface de chaussées des aérodromes d'Adrar et Béchar sont diverses, pour le cas de l'aérodrome de Béchar on a pris la partie du lot rigide de la chaussée (bouts bétonnés) pour définir les dégradations relatives au type de chaussées rigides les dégradations observées sont de deux types, les dégradations de structure telles que : fissures en coin, cassure d'angle, rupture et les dégradations de surface, épaufrure observé au bord de la dalle en coin qui affecte une partie de l'épaisseur de la dalle, faïençage écaillage, ce type de dégradation affecte presque toute la surface de la dalle, d'autre dégradations observées ne présentent pas un degré de gravité élevé. De plus les pathologies observées sont fortement dépendantes du type de la structure, ce qui nous amène à tirer l'attention des gestionnaires que le seuil de l'arme est atteint.

Pour le cas de l'aérodrome d'Adrar, cas de chaussée souple, on a constaté des dégradations de structure et des dégradations de surface qui ont rendues la chaussée de l'aérodrome presque inexploitable avec un degré de gravité élevé.

On remarque que la structure de ces deux aérodromes, Béchar et Adrar, ne peuvent assimiler leurs services conformément aux réglementations de la navigation aérienne, du faite que leurs degré de gravité est élevé.

Pour le cas de l'aérodrome de Timimoun, on peut dire d'après nos constatations que la chaussée n'est pas affectée des dégradations de structure, ce qu'il lui permet de rendre les services dans les conditions normales.

Pour le cas de l'aérodrome de Tindouf, on n'a pas pu avoir accès à l'aérodrome pour investigations pour des mesures sécuritaires.

Chapitre V

TRAITEMENT DES DEGRADATIONS DANS LES CHAUSSEES AERONAUTIQUES

5.1 Introduction

5.2 La méthode PCI

5.3 Analyse de dégradations

5.4 Traitement des dégradations

5.4.1 Entretien des chaussées souples

5.4.2 Entretien des chaussées rigides

5.5 Problèmes de fissures

5.5.1 Classification

5.5.2 La remontée des fissures dans les couches de surface

5.5.3 La préfissuration

5.5.4 Techniques anti-fissures en entretien

5.5.5 Interposition d'un enrobé fin

5.6 Les géotextiles

5.6.1 Fonctions et rôles des géotextiles

5.6.2 Renforcement et stabilisation

5.7 Conclusion

5.1 Introduction

Les revêtements d'un aéroport doivent être en permanence gardés en bon état en prévenant leur détérioration due au passage répétitif des charges importantes d'une part, aux conditions naturelles locales d'autre part. Afin de déterminer une méthode correcte et la périodicité des entretiens, il est nécessaire de déterminer leurs états actuels et de prévoir leur évolution au fil du temps. L'exploitation des aéronefs sans risque dans les aéroports est étroitement liée à l'état de la surface des revêtements que nous récapitulons plus loin.

Partout dans le monde, les responsables d'aéroport à piste unique souhaitent conserver leur piste d'atterrissage lors des travaux de réparation indispensables et éviter ainsi la fermeture de l'aéroport.

Les gros aéroports disposant de plusieurs pistes supportent une exécution des travaux de réparation qui tient compte de la disponibilité de l'ensemble des pistes d'atterrissage durant les heures de pointe. C'est la raison pour laquelle les travaux doivent être exécutés entre les heures de pointe, soit le jour, soit la nuit, en fonction des horaires de vol.

Dans la plupart des grands aéroports du monde, il existe des limitations de trafic durant la nuit. De ce fait, au début des années soixante-dix, Airplan a développé des techniques de réparation par élément pendant les heures creuses. Depuis la première application, de nombreux autres travaux d'entretien ont été menés, et ont prouvé l'efficacité de cette méthode.

Pour la sécurité de l'exploitation des aéronefs, le PRI (pour "Pavement Réhabilitation Index", indice de rénovation pour les revêtements) est un critère important des surfaces permettant de juger de la nécessité éventuelle de les rénover. Pour les revêtements en enrobés bitumineux, le PRI est déterminé en tenant compte de certains paramètres, tels que le rapport de fissuration, la profondeur des ornières et l'uni de la surface, tandis que pour les revêtements en béton, on tiendra compte, à cet effet, du degré de fissuration, de la rupture et du ressaut au niveau des joints. Depuis plus de dix ans, des études de la surface des revêtements ont été effectuées régulièrement dans des aéroports en vue de diagnostiquer éventuellement leurs dégradations et de prévoir leur évolution au fil des ans.

5.2 La méthode PCI

Une étude de l'adhérence des revêtements des aéroports, en particulier celle des pistes de décollage, a également été réalisée pour déterminer une valeur indicative. Une série des mesures du coefficient de frottement sur le terrain a été effectuée dans plusieurs aéroports en exploitation, au moyen d'un SFT (pour "Saab Friction Tester", appareil d'essai de frottement Saab).

Les différents ouvrages en génie civil nécessitent le contrôle avant la réalisation sur les plans, durant la réalisation et après leur réalisation par plusieurs méthodes, parmi ces méthodes, la méthode PCI qui est applicable après la réalisation des ouvrages pour l'entretien. Elle est un véritable indicateur de l'état de la chaussée en béton.

Conformément au système de rénovation des revêtements des aéroports en vigueur, la méthode d'intervention pour la rénovation doit être fixée après l'analyse des conditions de la surface et celle de la structure des revêtements. Une procédure permettant d'examiner des surfaces en différents états a été établie à l'aide du PRI pour juger de la nécessité éventuelle de rénover.

Le PRI lui-même est obtenu en utilisant les expressions suivantes :

(1) Revêtement en enrobés bitumineux

$$\text{PRI} = 10 - 0,450 \text{ SR} - 0,0511 \text{ RD} - 0,655 \text{ SV}$$

où, CR : rapport de fissuration (en % = zone fissurée/unité de surface),

RD : profondeur de l'ornièrre (en mm, valeur maximale)

SV : l'uni (en mm, écart type de 3 m de données fournies par le vérificateur de la surface de chaussée).

5.3 Analyse de dégradations

Dans le cas de nos investigations nous avons utilisé pour le relevé le niveau de la dégradation la méthode P.C.I (pavement condition index) qui repose essentiellement sur le type de dégradation, son niveau de gravité (léger, moyen ou élevé) et sa densité (pourcentage de surface affectée).

1. Application de la méthode P.C.I à l'aérodrome de Béchar

Les calculs par la méthode P.C.I ont intéressés :

- 400 m du bout-bétonné 01
- 425 m du bout-bétonné 19
- Tout le parking M.

a) Bout-Bétonné 01

Les quartes cent (400 m) du bout-bétonné 01 sont découpées en trente deux (32) mailles (25 dalles par maille). Les résultats sont présentés dans le tableau 5.1 suivant.

Tableau 5.1 : Etat selon PCI bout bétonné 01

N° maille	V.D.T	V.D.C	I.S	Etat selon P.C.I
01	75	55	45	MOYEN
02	94	60	40	MOYEN
03	108	55	18	TRES MAUVAIS
04	90	68	32	MAUVAIS
05	113	75	25	MAUVAIS
06	83	62	38	MAUVAIS
07	101	76	24	MAUVAIS
08	95	67	33	MAUVAIS
09	94	71	29	MAUVAIS
10	75	57	43	MOYEN
11	126	82	18	MAUVAIS
12	92	64	36	HORS SERVICE
13	143	-	-	MAUVAIS
14	88	62	38	MAUVAIS
15	131	94	06	HORS SERVICE
16	61	46	54	MOYEN
17	125	91	09	HORS SERVICE
18	116	86	14	TRES MAUVAIS
19	178	-	-	HORS SERVICE
20	158	-	-	HORS SERVICE
21	124	-	-	HORS SERVICE
22	112	84	16	TRES MAUVAIS
23	106	80	20	TRES MAUVAIS
24	124	80	20	TRES MAUVAIS
25	175	-	-	HORS SERVICE
26	104	78	22	TRES MAUVAIS
27	174	-	-	HORS SERVICE
28	123	90	10	TRES MAUVAIS
29	177	-	-	HORS SERVICE
30	134	88	12	TRES MAUVAIS
31	182	-	-	HORS SERVICE
32	137	86	14	TRES MAUVAIS

V.D.T : valeur déduite totale

V.D.C : valeur déduite corrigée

I.S : INDICE DE SERVICE

L'évaluation statistique de l'état du bout bétonné 01 est donné dans le tableau 5.2.

Tableau 5.2 : Evaluation du bout de piste

E TATS	NOMBRE DE MAILLE	% DES MAILLES
BON	00	00
MOYEN	04	12,5
MAUVAIS	09	28,12
TRES MAUVAIS	09	28,12
HORS SERVICE	10	13,25
TOTAL	12	100 %

OBSERVATIONS : 87,50 % DES MAILLES SONT ENTRE HORS SERVICE ET MAUVAIS.

V.D.C MOYENNE : 19,25 % soit un état Très mauvais.

b) BOUT BETONNE 019

Les quatre cent vingt cinq (425 m) de ce dernier sont découpés en trente quatre mailles (25 dalles 4,5mx 5m par maille).

Tableau 5.3 : Etat selon PCI bout bétonné 019

N° MAILLE	V.D.T	V.D.C	I.S	ETAT SELON P.C.I
01	79	67	33	MAUVAIS
02	55	54	46	MOYEN
03	148	-	-	HORS SERVICE
04	42	45	55	MOYEN
05	187	-	-	HORS SERVICE
06	52	41	59	BON
07	194	-	-	HORS SERVICE
08	132	-	-	HORS SERVICE
09	98	75	25	MAUVAIS
10	84	64	36	MAUVAIS
11	41	34	66	BON
12	128	-	-	HORS SERVICE
13	88	76	24	MAUVAIS
14	124	-	-	HORS SERVICE
15	136	-	-	HORS SERVICE
16	131	-	-	HORS SERVICE
17	137	-	-	HORS SERVICE
18	90	68	34	MAUVAIS
19	104	78	22	TRES MAUVAIS
20	94	71	29	MAUVAIS
21	160	-	-	HORS SERVICE
22	133	-	-	HORS SERVICE
23	169	-	-	HORS SERVICE
24	78	57	43	MOYEN
25	115	70	30	MAUVAIS
26	82	62	38	MAUVAIS
27	132	-	-	HORS SERVICE
28	155	-	-	HORS SERVICE
29	90	68	32	MAUVAIS
30	92	70	30	MAUVAIS
31	45	34	66	BON
32	94	71	29	MAUVAIS
33	136	84	16	TRES MAUVAIS
34	99	74	26	MAUVAIS

EVALUATION STATISTIQUE DE L'ETAT DU BOUT BETONNE 019

Tableau 5.4 : Evaluation du bout bétonné 019

ETAT	NOMBRE DE MAILLE	% DES MAILLES
BON	03	8,82
MOYEN	03	8,82
MAUVAIS	12	35,29
TRES MAUVAIS	02	5,88
HORS SERVICE	14	41,17
TOTAL	34	100%

OBSERVATIONS : 82% des mailles sont entre hors service et mauvais.

-V.D.C moyenne : 21,97 ; soit un état mauvais.

c) PARKING "M"

Ce dernier est découpé en cent dix (110) mailles (16-24-25 et 30 dalles de 5m x 5m par maille).

Tableau 5.5 : Etat selon PCI du parking M

N° maille	V.D.T	V.D.C	I.S	Etat selon P.C.I
01	22	18	82	TRES BON
02	04	-	100	EXCELLENT
03	31	26	74	TRES BON
04	08	08	92	EXCELLENT
05	04	-	100	EXCELLENT
06	-	-	100	EXCELLENT
07	30	24	76	T. BON
08	66	06	94	EXCELLENT
09	31	22	78	T. BON
10	41	30	70	BON
11	22	22	78	T. BON
12	18	18	82	T. BON
13	77	55	46	MOYEN
14	41	30	70	BON
15	48	34	66	BON
16	71	54	46	MAUVAIS
17	96	71	29	HORS SERVICE
18	61	46	54	MOYEN
19	29	24	76	TRES BON
20	40	33	67	BON
21	31	25	75	TRES BON
22	28	28	72	TRES BON
23	54	40	60	BON
24	39	32	68	BON
25	33	25	75	T. BON
26	35	29	71	T. BON
27	70	50	50	MOUEN
28	63	45	55	MOUEN
29	50	38	62	BON
30	105	79	21	T. MAUVAIS

Chapitre V : Traitement des dégradations dans les chaussées aéronautiques

31	43	31	69	BON	
32	24	20	80	T. BON	
33	42	35	65	BON	
34	108	73	27	MAUVAIS	
35	107	66	34	MAUVAIS	
36	81	57	43	MOYEN	
37	164	96	04	HORS SERVICE	
38	154	93	07	HORS SERVICE	
39	92	70	30	MAUVAIS	
40	46	38	62	BON	
41	102	86	14	T. MAUVAIS	
42	109	84	16	T. MAUVAIS	
43	93	61	39	MAUVAIS	O.B.S
44	56	41	59	BON	
45	30	24	76	TRES BON	
46	84	60	40	MAUVAIS	
47	85	64	36	MAUVAIS	
48	79	56	44	MOYEN	
49	15	12	88	EXCELLENT	
50	24	20	80	T. BON	
51	30	24	76	T. BON	
52	118	88	12	T. MAUVAIS	
53	48	34	66	BON	
54	16	16	84	T. BON	
55	174	98	02	HORS SERVICE	
56	92	66	34	MAUVAIS	
57	107	81	19	T. MAUVAIS	
58	37	31	69	BON	
59	112	74	26	MAUVAIS	
60	33	27	73	T. BON	
61	-	-	-	MAUVAIS	
62	-	-	-	HORS SERVICE	VISUELLEMENT T. MAUVAIS
63	153	-	-	MAUVAIS	VISUELLEMENT T. MAUVAIS
64	46	39	61	BON	
65	-	-	-	-	VISUELLE. HORS SERVECE
66	-	-	-	-	VISUELLEMENT MAUVAIS
67	-	-	-	-	VISUELLEMENT T. MAUVAIS
68	110	74	26	MAUVAIS	
69	53	44	56	BON	
70	48	36	64	BON	
71	-	-	-	-	VISUELLEMENT MAUVAIS
72	-	-	-	-	VISUELLEMENT MOYEN
73	-	-	-	-	VISUELLEMENT MAUVAIS
74	99	82	18	T. MAUVAIS	
75	111	83	17	T. MAUVAIS	
76	77	55	45	MOYEN	
77	48	40	60	BON	
78	82	54	46	MOYEN S	
79	68	52	48	MOYEN	
80	37	31	69	BON	

Chapitre V : Traitement des dégradations dans les chaussées aéronautiques

81	-	-	-	-	VISUELLEMENT T. MAUVAIS
82	75	64	37	M AUVAIS	
83	40	33	67	BON	
;	51	50	50	MOYEN	
85	57	43	57	BON	
86	26	21	79	T.BON	
87	87	75	25	MAUVAIS	
88	17	17	83	T.BON	
89	30	30	70	BON	
90	29	29	76	T.BON	
91	24	19	81	T. BON	
92	12	12	88	EXCELLENT	
93	14	14	86	EXCELLENT	
94	30	25	75	T. BONE	
95	24	20	80	T.BON	
96	81	57	43	T.BON	
97	24	20	80	MOYEN	
98	-	-	100	T. BON	
99	04	-	100	EXCELLENT	
100	-	-	100	EXCELLENT	
101	19	19	81	T. BON	
102	11	8	92	EXCELLENT	
103	-	-	100	EXCELLETN	
104	28	22	78	T. BON	
105	04	-	100	EXCELLENT	
106	30	24	76	T. BON	
107	34	28	82	T. BON	
108	47	35	65	BON	
109	25	20	80	T. BON	
110	03	-	100	EXCELLENT	

La méthode P.C.I n'est pas applicable pour les mailles 62 -63-64-65-66-67-71-72-73 et 81 vue que les dalles de ces mailles ne présentent pas les mêmes dimensions . Pour cela le relevé de dégradation a été fait visuellement (approximatif de la réalité)

Tableau 5.6 : Evaluation des mailles

ETATS	NOMBRE DE MAILLE	%DES MAILLES	O.B.S
EXCELLENT	15	13,63	
TRES BON	29	26,36	
BON	22	20,00	
MOYEN	14	12,73	02MAILLE SANS CALCUL
MAUVAIS	15	13,63	03MAILLE SANS CALCUL
TRES MAUVAIS	10	9,09	03MAILLE SANS CALCUL
HORS SERVICE	05	4,54	01MAILLE SANS CALCUL

OBSERVATIONS : V.D.C MOYENNE = 58 ,78 SOIT UN ETAT DU PARKING : BON

Remarques et interprétations :

- le sol de fondation au droit de la piste est relativement sensible légèrement à l'eau par rapport au parking,
- les diagrammes Proctor modifié présentent généralement un maximum légèrement accusé ce qui suppose un sol toutefois sensible à l'eau,
- toutefois l'effet de sol bien que très minime est relativement faiblement élevé pour le sol de fondation au droit de la piste.

Cependant la collecte de cette observation devra aider les techniciens à mettre en valeur certaines mises au point afin de porter un jugement efficace techniquement.

d) SYNTHESE GENERALE

A vu des résultats de l'évaluation d'Etat des chaussées rigides de la piste principale et le parking Militaire de l'aérodrome de BECHAR, il s'avère que :

- 1 – Le bout de piste 01 est en mauvais état et dans l'ensemble et en ruine sur les bandes centrale.
- 2 – Le bout de piste 19 est en mauvais état et dans l'ensemble est ruine sur la bande centrale
- 3 – Le parking militaire en bon état dans son ensemble avec quelque dalle en ruines situés ponctuellement au niveau de la jonction avec le taxiway.

Par ailleurs la structure de la chaussées rigide est non adaptée aux aéronefs civils et militaires moyen et long courriers vu l'épaisseur des dalles (0,20 cm), et la portance de sol support de par l'état d'humidité permanente (disfonctionnement du réseau d'assainissement) et par conséquent l'affectation des modules de déformation du sol.

L'auscultation de chaussée rigide de l'Aérodrome de BECHAR, de part l'évaluation de l'indice d'Etat des chaussées, et une étude du dimensionnement de chaussée et de l'étude rhéologique des matériaux permet dans l'optique du trafic future et de type d'aéronef pouvant fréquenter la piste principale de déclarer que :

- 1- les bouts de piste en chaussé rigide 01 et 19 sont donc d'une qualité fonctionnelle et structurelle résiduelle médiocre et non adaptée au trafic et au type de charges actuels.

Par conséquent ils sont hors service. Ils nécessitent par conséquent leur démolition pour la réalisation d'une nouvelle chaussée adaptée au trafic et aux types d'aéronefs actuels et futurs.

2- Le parking militaire en bon état ne nécessite aucun renforcement, sauf quelques réparations ponctuelles au niveau de la jonction avec le taxiway (remplacement de quelques dalles), vu la fréquentation habituelle et future par des avions militaires non contraignants et vu la bonne portance du sol support.

Lors de la conception des nouvelles chaussées il y a lieu d'étudier convenablement le réseau d'assainissement qui de part son dysfonctionnement influe directement sur les modules de déformation du sol support et par conséquent sur sa portance.

2. Application de la méthode P.C.I à l'aérodrome d'Adrar

Les indices de services propres à la chaussée souple d'aérodrome d'Adrar sont les suivants :

Tableau 5.7 : IS de l'aéroport d'Adrar

IS globale	IS structurel	IS superficiel
53.24	76.75	72.36

➤ IS Globale

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

➤ IS Structurel

Indice de service calculé à partir du traitement des dégradations des structures rencontrées sur la chaussée permettant d'apprécier l'état de la chaussée révélant un défaut de portance.

➤ IS superficiel

Indice de service calculé à partir des dégradations des surfaces rencontrées sur la chaussée permettant d'apprécier l'état superficiel de la chaussée.

Interprétation des résultats

Pour qualifier l'état de la chaussée, et afin de justifier le renforcement ou non des aires de manœuvres de l'aérodrome d'Adrar, il est indispensable de passer par l'organigramme suivant, qui est considéré comme un principe général du système de gestion :

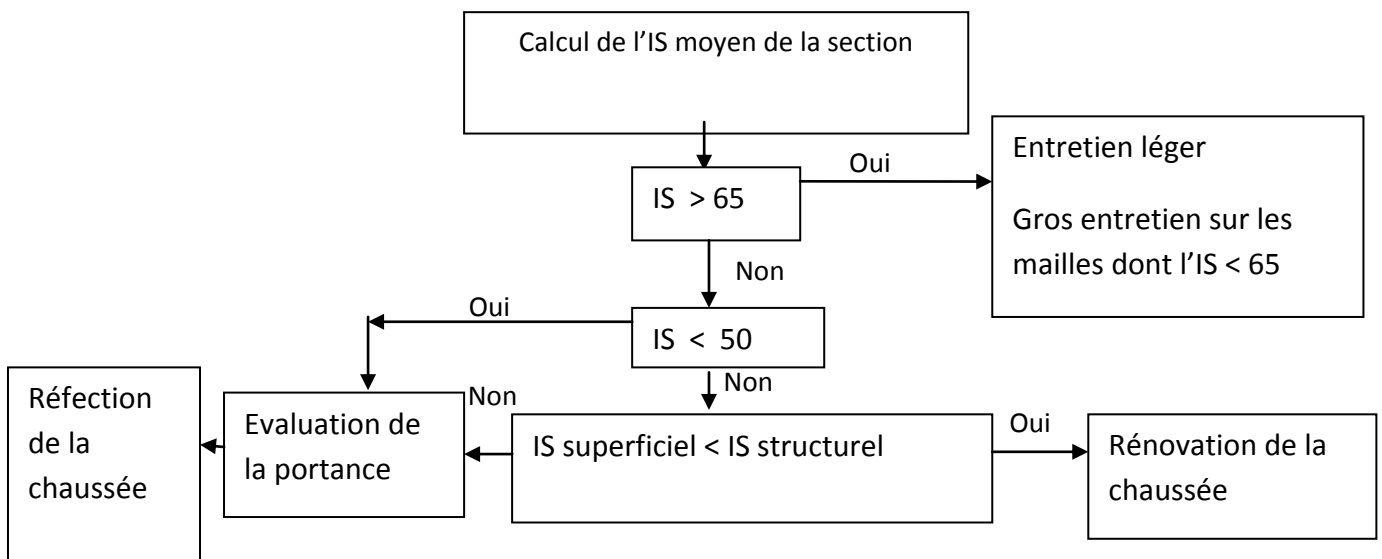


Figure 5.1 : Schéma du calcul de l'IS moyen de la section

On constate, d'après le tableau précédent, que l'état global de la piste principale 04/22 est passable (IS moyen est égal 53.24), ainsi que le niveau de service de la structure et de la surface est considérée comme en bon état (IS structurel = 76.75, IS surface = 72.36)

Suivant l'organigramme précédent, nous avons le IS de notre cas qui est égale à 53.24 est inférieur à 65 et supérieur à 50, ainsi le IS superficiel inférieur à IS structurel donc ce résultat nous conduit à la rénovation de la chaussée.

5.4 Traitement des dégradations

5.4.1 Entretien des chaussées souples

Les interventions courantes qui permettent de maintenir ou de remettre les chaussées en état de service, sans volonté d'améliorer les qualités structurelles de celles-ci.

Ces interventions se distinguent en cela des travaux de réfection et de renforcement qui sont, par suite, traités ici de manière distincte.

L'entretien peut avoir séparément ou à la fois pour objectifs :

- ✓ celui préventif tendant à ralentir le processus de dégradation de la chaussée et à retarder le recours à des techniques plus lourdes de réfection,
- ✓ celui curatif visant à redonner à la chaussée des caractéristiques fonctionnelles suffisantes.

Les opérations d'entretien s'adressant spécifiquement aux chaussées souples peuvent avoir un caractère ponctuel ou généralisé.

Par opérations d'entretien ponctuel, on entend essentiellement :

- ✓ les reprises ponctuelles du revêtement,
- ✓ le colmatage de fissures.

Les opérations d'entretien généralisé supposent par contre la mise en œuvre de matériaux sur tout ou large partie de la surface d'une aire aéronautique, sans qu'il puisse pour autant s'agir de réfections - lesquelles supposent généralement un enlèvement de matériaux - ni de renforcements, qui impliquent, quant à eux, la mise en œuvre d'une ou plusieurs couches de matériaux totalisant une épaisseur suffisante pour constituer un apport structurel significatif.

Ainsi entend-on par opérations d'entretien généralisé :

- ✓ la mise en œuvre de coulis ou d'enduits superficiels,
- ✓ celle d'enrobés en couche mince.

Courantes sur chaussées routières, ces opérations seront adaptées aux conditions aéronautiques et utilisées avec précaution. Certaines sont à réserver aux aérodromes d'aviation légère.

- ✓ Reprises ponctuelles du revêtement

Les reprises localisées de revêtements en enrobés seront effectuées avec les précautions habituelles nécessaires à une bonne tenue de la réparation, à savoir :

- délimitation de l'aire à traiter incluant la dégradation de manière suffisamment large pour permettre le compactage ultérieur des matériaux d'apport,
- découpage à bords francs de la zone défectueuse sur une profondeur à estimer en fonction de la dégradation, - purge des différentes couches de chaussée concernées,
- mise en œuvre des matériaux d'apport correspondant aux différentes couches traitées,
- interposition, selon la nature de la couche atteinte, de couches d'accrochage ou d'imprégnation,
- compactage et réglage soigné des différentes couches d'apport,
- traitement du joint créé par la réparation.

✓ Colmatage des fissures

Le colmatage des fissures peut être réalisé selon trois procédés, à savoir :

1 - par pénétration gravitaire d'un liant fluide

Concevable pour des fissures peu ouvertes et présentant, par suite, un degré de gravité faible, cette méthode est aléatoire quant à ses résultats, ceux-ci dépendant de la profondeur des fissures.

2 – par garnissage au mastic bitumineux

Le garnissage au mastic bitumineux se fait après ouverture mécanique de la fissure. Cette technique est lourde et ne peut s'appliquer qu'à des fissures localisées et présentant une forme sensiblement rectiligne.

3 - par pontage des fissures

Cette technique est adaptée au traitement des fissures de formes diverses et de longueur importante, cette technique consiste à mettre en œuvre, sur une largeur de 7 à 10 cm encadrant la fissure et sur une épaisseur d'environ 2 mm, les principaux points à observer étant les suivants :

- non exécution par temps de pluie,
- préparation du support par décapage et séchage à la lance thermopneumatique,
- température du support supérieure à 5°C,
- mise en place du produit à l'aide d'un sabot et réglage en épaisseur comme en largeur du cordon de mastic,
- respect de la température de coulée,

- microgravillonnage de surface avec un sable sec de granulométrie 1/2 ou 1/3, ayant un coefficient Los Angeles inférieur à 20 et totalement exempt de fines,
- limitation des largeurs de pontage rectiligne par mise en place de bandes adhésives collées de part et d'autre de la fissure à ponter afin d'éviter les ruissellements incontrôlés.

✓ Enduits superficiels

La mise en œuvre d'enduits superficiels (norme NF P 98 160) permet également de rétablir l'étanchéité de surface ou de redonner des caractéristiques de rugosité satisfaisantes à la chaussée. L'utilisation de cette technique sera toutefois limitée aux aérodromes ne recevant que des avions légers. Sa mise en œuvre doit alors respecter la succession suivante d'opérations :

- répandage d'une couche de liant,
- répandage d'une ou deux couches de granulats,
- compactage de l'ensemble,
- mise en place d'une couche de scellement afin d'éviter le rejet de granulats susceptible d'endommager les hélices, le diamètre du plus gros grain étant inférieur à 3 mm,
- éventuellement sablage et aspiration,
- balayage.

Il est également recommandé ici d'utiliser des liants améliorés afin de s'assurer d'une meilleure tenue dans le temps.

✓ Enrobés en couche mince

Les enrobés en couche mince sont peu utilisés sur les chaussées aéronautiques.

L'entretien par famille de dégradation

Fissure de joint :

- ✓ nettoyage de la surface à traiter ;
- ✓ pontage des fissures par mastic.

Fissure de retrait :

- ✓ nettoyage de la surface à traiter ;
- ✓ pontage des fissures par coulis à froid ou mastic.

Faïençage de retrait :

- ✓ rabotage de la couche de roulement et mise en œuvre d'une couche d'enrobé à chaud (après couche d'accrochage).

Fissure de fatigue :

- ✓ nettoyage des bords de la fissure ou découpage selon la gravité de la fissure ;
- ✓ pontage par mastic avec ou sans primaire d'accrochage.

Famille des arrachements

Désenrobage – Brûlure :

- ✓ balayage et nettoyage de la surface ;
- ✓ mise en œuvre d'un enduit superficiel avec balayage des rejets par aspiratrice.

Famille des déformations

Gonflement – Bourrelet :

- ✓ découpage soigné de la zone à traiter ;
- ✓ rabotage ;
- ✓ mise en œuvre d'une nouvelle couche d'enrobé à chaud (couche d'accrochage au préalable).

Ornière – Frayée :

- ✓ même nature de travaux que pour la reprise de flache.

Autres dégradations

Dépôt de gomme :

- ✓ grenailage ;
- ✓ lavage haute pression.

Réparation ponctuelle dégradée :

- ✓ suppression par jet d'eau haute pression ;
- ✓ grenailage.

5.4.2 Entretien des chaussées rigides

Pour les chaussées rigides : l'analyse du béton de chaussée de l'aérodrome de Béchar par la méthode P.C.I a donnée un état de béton de chaussée très mauvais pour des raisons différentes (mauvais entretien, présence de sable dans les joints ...etc.) la seule solution est de reconstruire la chaussée.

Dans le cas où la chaussée rigide n'est pas trop affectée on peut procéder à l'entretien des dégradations.

Dégradation de surface

Epaufrement :

- ✓ repiquage des zones concernées et reprise au mortier de résine ;
- ✓ reprise des joints.

Faïençage – Ecaillage :

- ✓ repiquage des zones concernées et reprise au mortier de résine.

Vu l'état avancé des dégradations des aérodromes de Béchar et Adrar on a recours à l'utilisation de la Géogrille (**géosynthétique**), pour le renforcement de ces aérodromes.

Dans le cas de l'aérodrome d'Adrar les travaux de renforcement sont confiés à l'entreprise Entreprise de Viabilisation Sidi Moussa (EVSM) et les travaux de renforcement sont en cours.



Géotextile utilisée pour le renforcement



Les travaux de renforcement sont en cours



Les travaux de reprofilage en cours



Les travaux sur la piste principale presque achevés

Figure 5.2 : travaux de reprofilage

5.5 Problèmes de remonté de fissures

5.5.1 Classification

Les problèmes de la fissuration des assises de chaussées et celui de la remontée des fissures à travers les couches de surface sont complexes ; ils appellent encore des innovations dans la conception des structures, dans la nature des matériaux et dans le développement de techniques habituellement présentées comme des techniques anti-fissures. En chaussées aéronautiques, les problèmes sont identiques à ceux de la route mais avec des conséquences accentuées concernant essentiellement l'uni et l'étanchéité.

Avant d'aborder le développement de ce guide technique, il est nécessaire de rappeler la différence entre la fissuration de retrait des assises traitées avec un liant hydraulique et la fissuration de fatigue.

La première intervient sous l'effet du retrait, au moment où la contrainte de traction engendrée dans le matériau par la prise atteint une valeur proche de la résistance en traction. Dans le domaine de la fissuration de retrait on a l'habitude de distinguer deux types de retraits élémentaires :

- 1- les retraits primaires qui comprennent le retrait avant durcissement et le retrait hydraulique. Ils sont responsables des premières mises en contrainte lente du matériau après sa mise en œuvre; ils se produisent alors que le matériau est encore peu résistant ;
- 2- le retrait thermique, associé soit aux variations journalières soit aux variations annuelles de température. Les premières peuvent se situer entre 20 et 30° C, tandis que les secondes peuvent atteindre 50 à 60° C.

On classe les fissures de retrait à partir de différents paramètres d'identification, ce qui permet d'appréhender leur gravité depuis un état initial (fissures transversales, fines peu ouvertes et non dédoublées par exemple) jusqu'à son état ultime lorsque la fissure de retrait a évolué sous la forme d'une zone faïencée.

Les fissures de fatigue peuvent être classées suivant les mêmes paramètres, mais ces fissures de fatigue apparaissent généralement dans le sens longitudinal, au niveau des voies de circulation.

La fissure de fatigue est la conséquence d'une insuffisance structurelle de la chaussée. Elle précède la période de destruction totale de la chaussée. Elle est provoquée, pour des structures à assises traitées, par des contraintes de traction par flexion excessives dans les

assises. Pour les structures souples elle est la conséquence d'un excès de déflexion qui engendre des contraintes de traction excessives à la base de la couche de roulement.

Les stratégies d'entretien adoptées pour les réseaux routiers sont telles que généralement la structure est renforcée en action préventive dès les premiers signes de fatigue d'une structure de manière à arrêter le processus d'évolution de la chaussée.

C'est pourquoi en France :

- les problèmes liés à la fissuration,
- les recherches faites à ce sujet,
- les expérimentations organisées pour tester des procédés concernent essentiellement la fissuration de retrait des assises.

5.5.2 La remontée des fissures dans les couches de surface

La propagation d'une fissure dans la couche de roulement d'une structure dont la couche de base est fissurée découle d'une alternative :

soit décollement de l'interface (propagation horizontale), soit propagation verticale en prolongement de la fissure existante.

Cette alternative est régie par le rapport entre l'effort tendant à propager la fissure dans une direction donnée et la résistance qu'opposent les matériaux à cette propagation.

On voit donc les objectifs qui vont être visés avec les techniques anti-remontées de fissures :

- 1- créer des liaisons ou donner aux matériaux des résistances à la propagation aussi élevées que possible en particulier lorsque les conditions climatiques sont défavorables (temps froid) ;
- 2- conduire la propagation de la fissure de manière à allonger son parcours avant son arrivée en surface. Pour ce faire on cherchera à créer une interface qui le permette en évitant les inconvénients d'un décollement vis-à-vis de l'évolution de la fissure remontée.

5.5.3 La préfissuration

La préfissuration consiste à provoquer la fissure de retrait de l'assise hydraulique à l'endroit où on le désire. En provoquant cette fissure tous les 2 ou 3 mètres on constate que lorsque la fissure remonte à la surface de la chaussée elle est rectiligne ce qui ne peut que faciliter un éventuel entretien.

La deuxième constatation qui est faite concerne l'évolution des fissures remontées en surface. D'une part elles correspondent toujours à une préfissuration de l'assise ; d'autre

part elles sont fines et leur évolution est beaucoup moins dommageable que celle d'une fissuration naturelle.

Trois techniques de préfissuration sont aujourd'hui développées par les entreprises routières françaises. Ces trois techniques, décrites ci-après, sont opérationnelles. L'efficacité des matériels pour localiser la fissuration dans l'assise est garantie en particulier pour les deux techniques qui font l'objet d'un avis technique du comité français pour les techniques routières (CFTR).

Avec ces trois techniques de préfissuration qui permettent l'obtention d'une fissuration maîtrisée, plus fine et moins évolutive, l'idée a germé de reconsidérer le dimensionnement des assises préfissurées. Actuellement des études sont en cours, principalement dans le domaine du calcul des structures par la méthode des éléments finis, à l'aide du programme CESAR 3 dimensions. Elles sont suivies par des chantiers expérimentaux réalisés dans le cadre de la Charte innovation mais les conclusions n'en sont pas encore tirées.

À ce jour une réduction d'épaisseur des assises préfissurées par rapport aux épaisseurs obtenues sans préfissuration n'est pas admise et doit être considérée comme expérimentale.

5.5.4 Techniques anti-fissures en entretien

Les techniques d'entretien pour limiter les conséquences de la remontée des fissures

Les techniques qui sont développées dans ce chapitre sont des techniques d'entretien qui peuvent également être mises en oeuvre, dès la construction des assises aéronautiques faisant appel à des assises traitées aux liants hydrauliques.

La transmission des fissures de l'assise dans les couches de surface est la conséquence des contraintes engendrées par les sollicitations, mais aussi et essentiellement la conséquence des contraintes thermiques (cycles saisonniers et journaliers). Pour éviter totalement ces dernières il suffirait de supprimer le collage des enrobés sur l'assise : ainsi la fissure de l'assise provoquée par le retrait de prise ne pourrait pas s'amorcer à la base de la couche de surface. Mais cela conduirait à un fonctionnement tellement défavorable qu'aucune couche de roulement ne résisterait longtemps dans de telles conditions.

Le concept qui est à l'origine des techniques d'interposition s'appuie sur le désir de désolidariser la couche de surface de l'assise vis-à-vis des contraintes thermiques (initialisation de la fissure de l'assise par des sollicitations horizontales et lentes) tout en

assurant son collage sur le support de manière à lui permettre un fonctionnement mécanique normal sous les charges.

Autrement dit, les techniques d'interposition consistent à mettre en oeuvre entre l'assise et les couches de surface une membrane anti-fissure ou une couche de diffusion des contraintes qui a un triple but :

- sur le plan de la transmission des contraintes, en tête de la fissure, provenant des cycles thermiques lents, elle dissocie les deux couches,
- elle permet à la structure de supporter les sollicitations des charges en assurant un bon collage de l'enrobé à son support.,
- elle doit conserver l'imperméabilité de la structure même si la fissure se développe dans la couche de surface.

Le matériau utilisé pour constituer une membrane antifissure doit donc être suffisamment déformable sous les sollicitations lentes des cycles thermiques de manière à permettre la « dissipation des contraintes » apparaissant en tête des fissures du support mais il doit conserver une rigidité suffisante pour les sollicitations rapides dues aux charges. Il ne doit pas présenter une forte compressibilité verticale pour ne pas augmenter exagérément les contraintes de flexion dans la couche de roulement ni être le siège de déformations permanentes ou fluage entraînant des déformations en surface. Il doit adhérer avec deux faces pour assurer le collage de la couche de roulement sur son support et doit aussi conserver son imperméabilité même au dessus ou en dessous d'une fissure ouverte.

On peut classer les techniques d'interposition en trois grandes familles dans lesquelles on retrouve pratiquement tous les produits ou procédés d'entreprise. Ce sont :

- l'enrobé fin bitumineux riche en liant et en fines,
- le géotextile imprégné,
- la membrane bitumineuse.

Ces procédés sont surtout utilisés pour l'entretien de chaussées semi rigides ou pour le rechargement de chaussées en béton, mais ils peuvent également être utilisés sous forme préventive pour des chaussées neuves dont la couche de base est en matériau traité avec un liant hydraulique.

Les géogrilles de première génération n'ont pas donné de résultats satisfaisants pour la fissuration de retrait des assises. Pour les autres fissures, sur chaussées souples en particulier, leur efficacité est significative.

5.5.5 Interposition d'un enrobé fin

Ce procédé consiste à réaliser la couche de roulement d'entretien (ou les couches de surface en chaussée neuve) sur une première couche de 1,5 à 2 cm d'épaisseur en enrobé 0/6 ou mieux 0/4 élaboré à partir d'un granulats entièrement concassé avec une formulation comptant de l'ordre de 10 % de bitume; 12 à 15 % d'éléments inférieurs à 80 microns (module de richesse visé entre 5,5 et 6) et 10 à 15 % de sable roulé.

Ce système souvent présenté sous l'appellation « enrobé bicouche » est parmi les plus efficaces mais sous certaines conditions. Il nécessite en particulier:

- l'emploi d'un bitume modifié pour l'enrobé fin. L'objectif est d'obtenir un liant ayant une faible susceptibilité thermique et pour le mélange un maximum d'allongement à la rupture. L'emploi de liant modifié est nécessaire pour donner à la « couche antifissure » la souplesse souhaitée sous toutes conditions climatiques et surtout d'éviter l'orniérage ou des déformations permanentes qui seraient inévitables sous fortes sollicitations avec du bitume pur;
- un support ayant un bon uni longitudinal et surtout un bon profil en travers pour respecter l'épaisseur (1,5 à 2 cm). Il est nécessaire de reprofiler le support si les déformations de profil sont supérieures à 1 cm;
- de ne pas réduire l'épaisseur de la couche de roulement. Une épaisseur de 6 cm de béton bitumineux est conseillée. Sous fortes sollicitations, on a également intérêt, sans réduire l'épaisseur, à utiliser un bitume modifié pour la couche de surface.

La conception d'un tel complexe conduit à rechercher un compromis entre l'efficacité vis-à-vis de la remontée des fissures qui tend à préconiser l'utilisation d'un bitume mou et la lutte contre les déformations permanentes sous charges lourdes qui impose l'emploi d'un liant dur ou modifié. Pour cette raison les études de formulation doivent être complètes et réalisées sur l'ensemble du complexe sable enrobé + couche de roulement pour ce qui concerne le comportement sous les charges (voies de circulation et aires de stationnement).

Au niveau de la fabrication du sable enrobé la seule difficulté peut intervenir dans le séchage de matériaux trop humides qui peut poser un problème de baisse de cadence de fabrication.

La mise en œuvre de ce produit se fait au finisseur vis calées pour respecter l'épaisseur sur une couche d'accrochage classique et avec un compactage en général réalisé par un compacteur tandem à jantes lisses; seuls les joints sont vibrés.

5.6 Les géotextiles

5.6.1 Fonctions et rôles des géotextiles

Le géotextile présente une surface continue qui permet de séparer deux sols ou deux couches différentes, il permet de répartir des efforts concentrés, il réagit aux efforts répartis de traction et constitue un renforcement dans un massif. Aussi, il joue un rôle anticontaminant, en bloquant les particules solides, car il constitue un drain.

On constate que le géotextile remplit simultanément plusieurs fonctions, qui sont :

- Drainage.
- Filtration.
- Séparation.
- Renforcement.
- Etanchéité.
- Protection

Ces fonctions sont complémentaires, mais généralement une seule est considérée comme la fonction majeure.

1. La filtration

Le filtre géotextile permet le passage d'un fluide provenant d'un sol ou d'un autre milieu (déchets, etc.) tout en prévenant le passage incontrôlé des particules extraites de ce milieu.

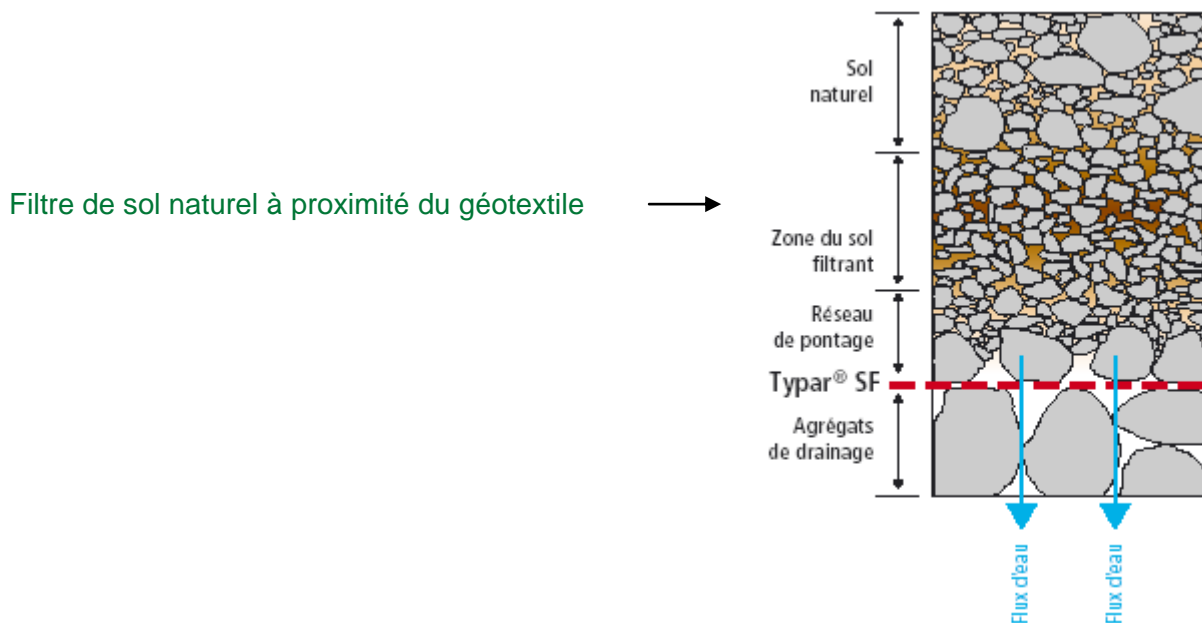


Figure 5.3 : Filtre de sol à proximité du géotextile

2. La séparation

Le géotextile empêche de manière permanente le mélange entre deux couches de sol présentant des caractéristiques physiques différentes, telles que le gravier et le sol à faible granulométrie.

Les principaux domaines d'application d'un géotextile utilisé comme séparateur se concentrent sur des projets **de construction de routes et de voies ferrées**. L'utilisation d'un géotextile préserve et améliore l'intégrité et le rôle fonctionnel des différents matériaux employés.

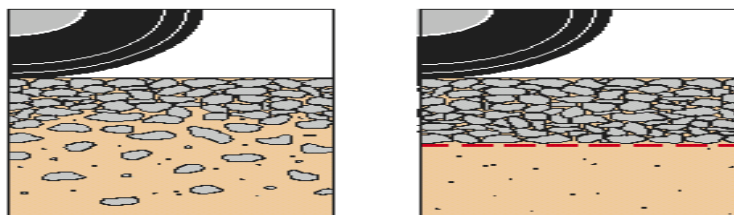


Figure 5.4 : La séparation de couche

2. Le drainage

Le géotextile est utilisé pour collecter, et transporter des liquides ou des gaz, dans le plan d'un géosynthétique.

La permittivité '**P**' est l'aptitude à laisser percoler l'eau.

$$- P = K_n / e$$

- K_n : perméabilité normale au plan. * e : épaisseur du géotextile

Élément composite de drainage

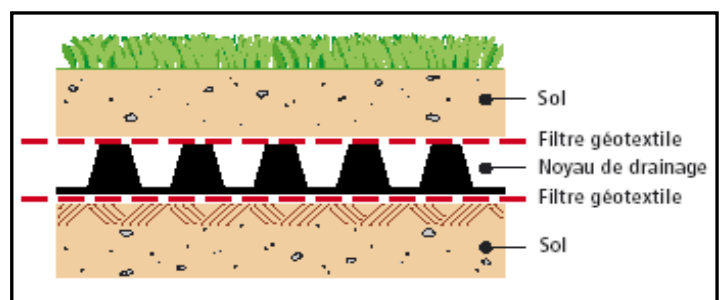


Figure 5.5 : Élément composite de drainage

5.6.2 Renforcement et stabilisation

- Les propriétés mécaniques en tension du géosynthétique haute résistance (tissés, géogrilles, composites). Sont utilisées pour résister aux contraintes ou limiter les déformations que subissent les structures.
- L'intérêt d'utiliser un géotextile, associé à un matériau pulvérulent ou cohérent, est de renforcer le massif en lui apportant une résistance en traction, et permet aussi la répartition des contraintes locales, par exemple :
 - Les remblais renforcés.
 - Les remblais à paroi verticale.
 - Les barrages en terre renforcés.
 - Les pistes de chantier.

Il existe trois mécanismes distincts permettant à un géotextile de stabiliser l'assise en agrégats et d'améliorer sa résistance à la déformation permanente sous l'effet de charges répétitives

- 1 - Retenue + Confinement
- 2 - Effet de membrane
- 3 - Renforcement local

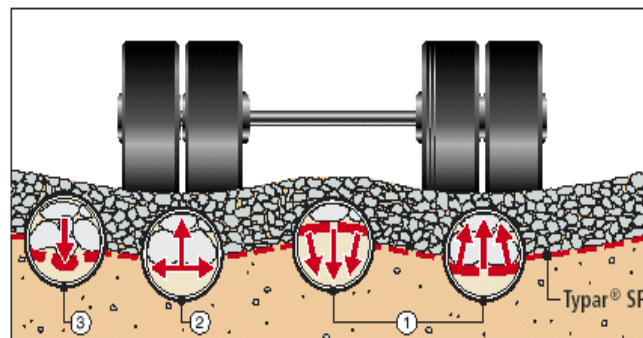


Figure 5.6 : Stabilité de l'assise

1. Retenue et Confinement

Comme l'illustre le dessin ci-dessus, il existe deux types de capacité de retenue. La première concerne la courbure inverse du géotextile de chaque côté du passage des roues (1), qui **marquent** une pression vers le bas. Ceci a pour effet de provoquer une surcharge qui aplatit les déformations et applique une force de compression sur le sous-sol. La seconde forme de retenue est celle que fournit le géotextile lorsque les particules d'agrégats se mettent à se disperser sous l'effet de la charge. Le géotextile apporte une armature de traction à la couche d'agrégats. Ce confinement des agrégats augmente leur résistance. Ce phénomène fait diminuer la contrainte de compression sur l'infrastructure en répartissant mieux la charge sous la pression des roues.

2. Protection

Le géotextile sert de couche de réduction de contraintes locales pour prévenir ou réduire les dommages potentiels que pourrait subir une autre couche de matériau géosynthétique ou géotechnique ainsi protégée.

3. Contrôle de l'érosion de surface

Le géotextile sert à prévenir l'érosion de surface de particules de sol sous l'effet de précipitations, de ruissellements ou du vent.

Mise en œuvre de la grille

Chaque élément a son importance pour le bon comportement de la grille en tant que renforcement d'une structure en enrobé, et procédé de la lutte contre la fissuration.

a. Préparation de la grille :

Pendant le transport et le stockage, ne pas enlever le film de protection. Oter le film juste avant l'utilisation de la grille. Ne pas plier la grille. Stocker la grille dans un dépôt tempéré à l'abri de la pluie et des ultra-violets.

b. Préparation de la chaussée :

Traiter les fissures si nécessaires, suivant les règles de l'art.

Balayer la chaussée. Elle doit être propre, sans impureté et plane.

c. Procédure

1. Répandre la couche de d'accrochage au dosage de bitume, dans une largeur supérieur à celle de la grille. En cas d'absorption de l'émulsion par le support, en remettre par-dessus la grille.
2. Placer le rouleau dans l'axe de la chaussée.
3. Dérouler la grille.
4. Le recouvrement transversal sera de plus de 20 cm, en tenant compte du sens d'avancement du finisseur, afin qu'il ne soulève pas la grille au droit du recouvrement.

d. Précautions

Il est recommandé de réaliser un reprofilage lorsque le support n'est pas plan (un bon coulage entre les couches d'enrobés). Le bitume de l'émulsion doit totalement imprégner et coller les enrobés. Il faut faire attention de répondre l'émulsion au démarrage de la répondeuse et ne pas laisser des zones sans bitume.

Il faut éviter de trop larges recouvrements. En cas de raccordement à une autre chaussée, la grille ne doit pas remonter sur le joint.

5.7 Conclusion

L'aérodrome d'Adrar est affecté par le phénomène de fissuration généralisé, d'un niveau de dégradation moyen; dans l'état actuel le niveau de gravité est passable, mais ce phénomène de fissuration généralisé évolue dans le proche future, qui s'aggrave de plus en plus, ce qui touche le niveau de service de l'aérodrome en entravant le confort et la sécurité des avions. Il est impératif d'intervenir sur l'aérodrome par des travaux de renforcements, en utilisant l'une des solutions proposées précédemment en tenant compte des critères technico-économique et des délais d'exécution.

D'après l'étude multicritères, nous observons que les trois solutions présentent des avantages et des inconvénients, ce qui nous mène à faire une étude comparative entre les trois. Pour la première variante solution radicale c'est la plus cher économiquement, mais elle a l'avantage de refaire un corps de chaussée neuf et d'éliminer toutes les fissurations qui se trouvent dans le corps de chaussée. La deuxième variante scarification partielle, elle a un coût moins coûteux que la première variante, mais elle présente les mêmes comportements que les anciens renforcements, donc elle ne va pas répondre aux problèmes des fissurations généralisées et ne pas retarder la remontée de fissure. Pour la troisième variante solution géotextile, elle présente le meilleur coût par rapport aux autres solutions et elle a l'avantage de résoudre au problème de la remontée de fissurations ; donc c'est la plus adéquate des trois autres solutions mais ce matériau est moins connu en Algérie.

Pour le cas d'Adrar, cette zone est reconnue par le phénomène du gradient thermique (température élevée, en été, à 60°C et descend en hiver, à moins de 0°C) celle-là a causé le vieillissement rapide du béton bitumineux, qui laisse aussi apparaître rapidement les fissures qui sont dus au retrait et à la fatigue.

Après la comparaison des trois solutions proposées, il s'avère que celle de géotextile est la plus efficace puisqu'elle retarde la remontée de fissurations en absorbant les efforts de tractions dus aux charges des aéronefs et aux variations thermiques.

Dans le cas de l'aérodrome de Béchar, les travaux de renforcement nécessaire à la réhabilitation de l'aérodrome n'ont pas été encore programmés. Dans le cas de l'aérodrome de Tindouf, les travaux de renforcement ont été entamés.

Conclusion générale
Conclusion générale

Conclusion générale

Conclusion générale

Le secteur des transports aérien dispose de 40 aéroports dont 35 en exploitation, 2 en réaménagement et 3 en projet. Le secteur en pleine expansion grâce aux toutes nouvelles infrastructures faites grâce aux plans de développement et de modernisation des infrastructures aéroportuaires.

L'Algérie dispose de plusieurs aéroports internationaux : notamment Alger, Annaba, Constantine, Tlemcen, Oran, Plus d'une trentaine de villes algériennes bénéficient de liaisons intérieures, dont une vingtaine de villes dans les hauts plateaux et le sud directement reliées à Alger, Oran et Constantine.

L'infrastructure aéroportuaire est très sous exploitée pour deux raisons principales prix très élevé et faiblesse des compagnies intérieures par manque d'appareils pour faire face à la demande, sans les compagnies étrangères la situation aurait été encore plus pire face aux trafics internationaux de voyageurs.

Les aérodromes du sud sont en grande partie des aéroports mixtes (civile et militaire) ce qui pose la difficulté d'accès aux chaussées de ces aérodromes (malgré les lettres de recommandations de l'université adressées aux administrations concernés). La distance qui sépare ces aérodromes a posé aussi un problème à cause de l'éloignement des aérodromes : d'Oran, Béchar au sud Ouest est à 750 Km, Adrar et Timimoum au Sud à 1300 Km et 1250 Km et Tindouf à l'Ouest à 1600 Km. Les autres problèmes rencontrés sont surtout ceux liés à l'accès aux données. Les ouvrages concernés par l'étude ne disposent pas de fiche technique relative aux données de base. Le manque de renseignements et d'informations touche en particulier les types de travaux engagés ainsi que sur les périodes de ces interventions.

Les aéroports du sud connaissent plus de difficultés que ceux du nord, surtout à cause des dégradations. L'apparition des dégradations dans les chaussées est due soit au cumul du trafic, à la mauvaise qualité du support ou excès des contraintes environnementales (les contraintes associées aux variations quotidiennes de température, aux gradients de température). Comme ces dégradations peuvent résulter de défauts de construction d'erreurs dans la conception de la chaussée ou lors de sa mise en œuvre (sous dosage du liant, mauvaise réalisation des joints...) soit des mouvements du sol, pertes de portance due à une augmentation de la teneur en eau du sol mal drainé, mauvais compactage de la plateforme, glissement des terrains.

Conclusion générale

La naissance de dégradation est souvent due à une combinaison entre les contractions thermiques et une déformation de la chaussée, alors que le béton bitumineux est devenu plus fragile sous l'action des UV. Ces effets sont accentués avec l'âge de la chaussée du fait de l'exposition de béton bitumineux aux effets environnementaux.

Nous pouvons dire que le point commun pour les différents aéroports présents dans notre étude est surtout dominé par une dégradation constatée dans les chaussées qui est la fissuration (présence de fissure). Afin de lutter contre ces dégradations il faut que les différents matériaux constitutifs des divers couches de chaussée doivent avoir des caractéristiques mécaniques qui résistent aux contraintes que subies la chaussée.

Lors de l'étude de dimensionnement de ces chaussées, il apparaît que les projeteurs n'ont pas pris en considération (dans les méthodes de conception) les facteurs dus aux contraintes environnementaux, le type de matériaux utilisés et les moyens de mise en œuvre. L'étude doit tenir compte lors des calculs des spécifications propres à ces régions sud. Il est recommandé d'introduire ces facteurs dans les futures études afin de prévoir le comportement des chaussées et définir des règles spécifiques pour les matériaux utilisables.

Les contraintes appliquées sont les actions telles que le trafic et la température qui se traduise par des actions mécaniques déflexion et de cisaillement sous l'action de charges roulantes importantes. La température et l'humidité sont à l'origine également d'effets de flexion et de traction du fait du gradient qui existent dans toute la structure. Il est primordiale de connaître la nature et la cause des fissures ainsi que le type et l'amplitude de mouvement de fissures dans la structure afin de mieux connaître la distribution des contraintes en pointe de fissures. Il apparaît évident que les actions (trafic et thermique) ne peuvent intervenir découplées, leur effet est combiné sur la propagation des fissures.

La construction d'une chaussée fait appelle aux différents matériaux ordonnancés de telle manière que l'ouvrage construit aura un bon comportement sous les sollicitations des trafics et contraintes de l'environnement. L'emploi de matériaux traités avec un liant hydraulique est dont les conséquences sont les problèmes liés à la fissuration de retrait. Un autre type de structure a été imaginé en prévoyant une couche de fondation avec un matériau traité avec un liant hydraulique, mais la couche de base réalisée avec une grave bitume améliorée repose sur une couche dont l'épaisseur est de l'ordre de 10 cm en grave recomposée

Conclusion générale

humidifie qui s'intercale pour former un écran à la remonté de la fissure de la couche de fondation. Ce type de structure qui nécessite une grave non traitée d'excellente qualité ne paraît pas compétitive économiquement dans des régions pauvres en granulats de ce type comme le cas d'Adrar et de Timimoun.

La technique de l'interposition d'un géotextile a été adaptée comme solution pour le renforcement des trois aérodromes : Adrar, Béchar et Tindouf. L'efficacité de cette technique provient de sa facilité d'exécution et de mise en œuvre et surtout de son coût de revient comparé aux autres techniques et procédés d'entretien. L'efficacité de cette technique dans les régions sud va être vérifiée dans le future.

La Direction des Infrastructures Aéroportuaires doit relever plusieurs défis, l'objectif essentiel étant la sauvegarde du patrimoine aéroportuaire existant et le parachèvement de la couverture de tout le territoire national en s'appuyant sur les volets renforcement, maintenance, adaptation, développement et réalisation. Le relevé et l'analyse des dégradations peuvent aboutir à des programmes d'identification et de traitement conduisant à un meilleur ciblage de l'entretien des pistes et des airs des aérodromes concernés. Une dynamique pour une vraie prise en charge des dégradations en particulier dans les aérodromes du sud et des hauts plateaux pourra être instaurée. Le relevé de dégradations doit être assimilé à une mesure et à ce titre, s'intégrer dans une procédure qui définit clairement les conditions de réalisation de ce relevé, son exploitation et son interprétation. Pour une telle procédure, il est nécessaire d'homogénéiser les relevés de dégradations en les adaptant aux structures des chaussées souples et rigides, de normaliser la définition des dégradations et leur mesure.

Au-delà de ses fonctions de répertoire des dégradations, ce sujet doit constituer un outil permettant d'aider à définir et à améliorer la méthode de travail au niveau des relevés et de leur interprétation, de réduire les dispersions dans les relevés en limitant dans la mesure du possible leur caractère subjectif, des orientations d'entretien non exhaustives seront également proposées pour les chaussées souples afin d'évaluer les types et délais d'intervention.

Conclusion générale

Les perspectives envisagées

Une meilleure connaissance du matériau est nécessaire en particulier dans les régions sud, pour arriver à dimensionner la structure en adéquation avec son fonctionnement. Beaucoup de tentatives de recherches ont été menées dans ce contexte. Pour lutter contre les dégradations dans les chaussées nous pouvons agir sur les caractéristiques mécaniques des matériaux (par une formulation) ou l'introduction de liant adopté ou soit par un ajout de fibres. Ce type des produits demeure dans le domaine de la recherche et l'emploi reste limité à des cas particuliers ou expérimentaux.

Ce modeste travail peut être le point de départ d'un diagnostic poussé des dégradations observées dans les aérodromes de sud et un support de base pour les futurs chercheurs afin de continuer l'évaluation de ces dégradations en utilisant la détection avec des appareils d'auscultation plus avancées et comme deuxième point de définir d'autres causes de ces dégradations et de nouvelles méthodes d'entretien.

Bibliographie
Bibliographie

Bibliographie

Achimastos L., 1998. Appréciation de l'état structurel d'une chaussée souple à partir des observations de dégradations de surface. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, mars 1998.

AFNOR, 1995. Sol : reconnaissances et essais. Normes françaises, NF P94-050 (décembre 1995), Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux. Méthode par étuvage.

AGUIRRE, MORROT, DE LA TAILLE, DOAN TU HO, BARGIACCHI, SMADJA, URON, GUAY & RONCIN, 1981. Etude comparée des essais de module complexe et de résistance à la fatigue des enrobés bitumineux, Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées n° 116.

Ahmeidi E., 1994. Etude de la propagation des fissures en milieu viscoélastique Application aux enrobés bitumineux. Thèse de Doctorat, Université de Limoges France, avril 1994.

Behr M. et Touillet P., 1988. Ouvrages d'art : actions et sollicitations thermiques. Bulletin de Liaison des Ponts et Chaussées n°155, juin 1988, pp. 51-55.

Brahma A., 1996. Béton. Edition OPU, Office des Publications Universitaires, Alger, 99 pages.

CIDEX et ROTAFLEX, 2007. Grilles de fibre de verre pour renforcement d'enrobé et traitement de fissures. Guide technique, Edition CIDEX et ROTAFLEX, 16 pages.

D. LAVEISSIERE ET C. PETIT, 1998. Modélisation de la fissuration par fatigue de chaussées pré-fissurées sous sollicitations thermiques, R.G.R.A. n°760.

F. BONNAURE, A. HUIBERS & A. BOONDERS, 1983. Etude en laboratoire de l'influence des temps de repos sur les caractéristiques de fatigue des enrobés bitumineux, Revue Générale des Routes et des Aéroports, n°595, pp 74-82.

G. COLOMBIER, 1989. Fissuration des chaussées : nature et origine des fissures; moyens pour maîtriser leur remontée, Proceeding of Reflective Cracking in Pavements, Liège.

Gatt J.M., 1993. Etude théorique et expérimentale de la déformation progressive. Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes France.

Gerritsen A.H. et Jongeneel D.J. , 1988. Fatigue Properties of Asphalt Mixes Under Conditions of Very Low Loading Frequencies. Shell International Petroleum Company Limited, Amsterdam The Netherlands, 391p.

GIDEL G., HORNYCH P., CHAUVIN J.J., BREYSSE D., DENIS A., 2001. Nouvelle approche pour l'étude des déformations permanentes des graves non traitées à l'appareil triaxial à chargement répétés. » Bulletin de liaison des Laboratoire des Ponts et Chaussées, pp. 5-22.

H.D. BUI, 1978. Mécanique de la rupture fragile, Edition Masson.

Habiballah T. E., 2005. Modélisation des déformations permanentes des graves non traitées, thèse de doctorat, Université de LIMOGES, 178 pages.

Himouri S.. Géotechniques et Construction Routière. Polycopie de Cours, Université de Mostaganem, septembre 2006.

J. BONNOT & al. 1988. Fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydrauliques, Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées, n° 156 et 157.

Bibliographie

- J. BONNOT, 1986. Le séminaire de l'USAP : thème 2 : l'entretien et la réparation des chaussées, entretien et remise en état des chaussées à couche de base en GTLH, RGRA 630, pp 63-68.
- J. NEJI, Juin 1992. Fissuration des chaussées semi-rigides, Expérience et modélisation, Thèse de doctorat, Ecole Centrale de Paris.
- J.M. BERTAUX, S. LE CLERC, Y. MARCIANO, 1996. Du comportement à froid des bitumes et des enrobés bitumineux, Revue Générale des Routes et des Aérodrômes, n°739.
- J.W. BUTTON et al. 1982. Textile interposé entre revêtement ancien et nouveau, 2^{ème} congré international des géotextiles, Las Vegas.
- L. MORICEAU, Juin 1994. Etude du comportement à la fatigue des bétons bitumineux, Travail de fin d'étude, ENTPE.
- L.T.P.O unité de Béchar, 2006. Rapport de laboratoire des travaux publics de l'ouest; Modernisation de l'aérodrome de Tindouf, 28p.
- L.T.P.O, 1994. Reconnaissance géotechnique de la piste principale de l'aérodrome d'Adrar. Rapport Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest; L.T.P.O unité de Béchar, novembre 1994, 31 pages.
- L.T.P.O, 2006. Reconnaissance géotechnique de la piste secondaire de l'aérodrome de Béchar. Rapport Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest, L.T.P.O unité de Béchar, avril 2006, 45 pages.
- Laveissiere D., mars 2002. Modélisation de la remonté des fissures en fatigue dans les structures routières par endommagement et macro-fissuration thèse de doctorat, Université de LIMOGES, 320p.
- Lorino T., 2006. Autopsie d'une chaussée. Edition Centre de Nantes, 83 pages.
- LTPO, 2006. Reconnaissance géotechnique de la piste : 01/19 de l'aérodrome de Béchar. Rapport Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest (L.T.P.O), unité de Béchar, 64p.
- LTPO, mars 1978. Projet d'exécution d'aérodrome d'Adrar, Rapport Laboratoire des Travaux Publics de l'Ouest, L.T.P.O unité de Béchar, 28p.
- M. ALIMAMI, Juin 1988. Contribution à l'étude de l'endommagement par fatigue des enrobés bitumineux, Rapport de recherche LPC n° 151.
- M. ASSI, 1983. Une méthode d'étude du comportement des enrobés bitumineux à la fatigue en cission, Rapport de recherche de LPC n°118.
- M.A. ASHAYER SOLTANI, 1998. Comportement en fatigue des enrobés bitumineux, Thèse de doctorat INSA de Lyon.
- Mahmoudi R.et Allouchi B., 2005. Etude des dégradations d'un béton de chaussée par la méthode PCI. PFE, projet de fin d'études, Université de Béchar, 110 pages.
- MARTINEZ J., 1980. Contribution au dimensionnement des chaussées souples. Comportement des matériaux et méthode de calcul, Thèse de Doctorat, INSA de Rennes.
- Mayoraz F., 2002. Comportement mécanique des milieux granulaires sous sollicitations cycliques : Application aux fondations des chaussées souples. Thèse de Doctorat, l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Bibliographie

- ME, 1964. Ministère de l'Équipement, 1964. Chaussées sahariennes à Beni-Abbes.
- Mouri L. et Bessadat H., 1994. Etude de dimensionnement des chaussées aéronautiques type sud. PFE, projet de fin d'études, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- MTP, 2008. Recueil des normes algériennes du secteur des travaux publics. Edition Ministère des Travaux Publics, Alger, mars 2008.
- N. RIVIERE, 1996. Comportement en fatigue des enrobés bitumineux, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux.
- SETRA, 1990(a). Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait des chaussées à assises traitées aux liants hydraulique. Note d'information n°55, Edition SETRA/LPC, 4 pages.
- SETRA, 1990(b). Note d'information SETRA/ LPC N°56, 1990. Limites et intérêts du colmatage des fissures de retrait des chaussées semi-rigides, 8p.
- SETRA, 1990(c). Note d'information SETRA/ LPC N°57, 1990. Techniques pour limiter la remonter des fissures à la surface des chaussées semi-rigides à couche de base traitée aux liants hydrauliques, 8p.
- OACI, 1984. Bulletin de l'Organisation de l'Aviation Civile Internationale, Manuel de conception des aérodromes, 86p.
- Revue DESTIN, octobre 2003. Tendances du trafic, politique du transport et plan dans la Méditerranée Occidentale, 64p.
- Revue technique de l'ingénieur, 3^{ème} trim. 2004. N°11 du Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) unité de Ghardaia, 45p.
- Sites Internet : www.stba.aviation-civile.gouv.fr
- Soliman S., 1976. Influence des paramètres de formulation sur le comportement à la fatigue d'un enrobé bitumineux. Rapport de recherche n° 58, Laboratoires des Ponts et Chaussées de Paris, ??? pages.
- STAC, 2007. Catalogue des dégradations ; Etat de surfaces des chaussées aéronautiques. Edition Service Technique de l'Aviation Civile (STAC), avril 2007, 82 pages.
- STBA, 2000. Guide technique, Chaussées aéronautiques en béton hydraulique, Technique anti-remontées des fissures (guide d'emploi en chaussées aéronautiques, 45p.
- STBA, 1999. Guide d'emploi en chaussées aéronautiques : Techniques anti-remontées des fissures. Edition STBA, avril 1999, 35 pages.
- STBA, 2007. Renforcement des chaussées aéronautiques. Edition STBA, avril 2007, 64 pages.
- Suivi et auscultation des chaussées aéronautiques, juin 1999. Instructions Techniques de l'Aviation Civile (ITAC), 35p.
- Uge P., Gravoise A. et Lemaire J.N., juin 1976. Le comportement en fatigue des enrobés bitumineux : influence du liant, Revue Générale des Routes et des Aéroports n° 521, pp 43-55.

Annexes

Annexe 1 : Documents

SETRA – CSTR / LPC, Mars 1990. Note d'information, chaussées dépendances 55, Règles de l'art pour limiter la fissuration de retrait des chaussées à assise traitées aux liants hydrauliques.

Les procédés pour combattre la fissuration des structures de chaussées à couche de base traitée aux liants hydrauliques font l'objet d'études et d'expérimentations. Cette note fait le point sur la question et indique l'efficacité comparée de ces procédés, les essais permettant de les caractériser et propose des modes d'utilisation. Elle ne concerne pas les chaussées à couche de base en enrobés bitumineux, notamment les structures mixtes.

TABLEAU 1	TECHNIQUES	RESULTATS A CE JOUR	PERSPECTIVES ET UTILISATIONS POSSIBLES - CHAUSSEES A COUCHE DE BASE TRAITEE AUX LIANTS HYDRAULIQUES
PREFISSURATION	Création dans le matériau compacté ou non d'une discontinuité matérialisée ou non à l'aide d'émulsion, de sable, de profilé. La discontinuité doit se transformer ultérieurement en fissures.	Les chantiers expérimentaux réalisés montrent une création de fissures au niveau de la discontinuité, les fissures étant plus rectilignes. En rapprochant les discontinuités (à moins de 3 m par exemple) et si le matériau est collé convenablement sur le support, les fissures sont fines.	Les moyens sont opérationnels ; si les résultats des chantiers réalisés le confirment, la technique doit permettre de s'affranchir du traitement spécifique des fissures par colmatage ultérieur selon le trafic : si $T \geq T_0$: associé à un complexe anti-fissure très efficace si $T_2 < T \leq T_1$: associé à un complexe anti-fissure moyennement efficace si $T \leq T_2$: seule
SCIAGE	Création par sciage, d'amorce de fissures, après prise du matériau mais avant la fissuration naturelle par retrait hydraulique	Très favorable sur des chantiers de béton compacté, seuls chantiers où le procédé a été expérimenté	Permet d'obtenir des joints comparables aux joints sur béton perrivré. (La pré-fissuration peut conduire à un résultat comparable).

Annexes

TABLEAU 2	DESCRIPTION DE LA TECHNIQUE (à titre indicatif)	RESULTATS A CE JOUR	PERSPECTIVES ET UTILISATIONS POSSIBLES - CHAUSSEES A COUCHE DE BASE TRAITEE AUX LIANTS HYDRAULIQUES
ENROBES BICOUCHES	Sable 0/4 mm à 9 ou 10 % de bitume (éventuellement modifié) : 1,5 à 2 cm. Béton bitumineux classique 4 à 6 cm ou plus (éventuellement bitume modifié).	Remontée lente de fissures en surface, même sous fort trafic, tolérable jusqu'à l'entretien suivant, sans colmatage.	Technique opérationnelle ; si $T > T1$: en associant la préfissuration si $T \leq T1$: seule. Les complexes doivent être étudiés pour éviter tout risque d'orniérage.
ENDUITS EPAIS + BETONS BITUMINEUX	Membrane en bitume élastomère ou caoutchouc (2 à 3 kg/m ²) + BB classique.	Peu favorables sur les chantiers réalisés (dans des conditions spécifiques). Favorable en laboratoire.	Ces techniques méritent un nouvel examen : - liant à optimiser - surtout règles de l'art de l'application à affiner et à respecter.
ENDUITS EPAIS SEULS	Membrane en bitume élastomère (2 à 3 kg/m ²) gravillonnée.	id.	id.
GEOTEXTILES IMPREGNES DE LIANTS BITUMINEUX + BETON BITUMINEUX	Collage à l'aide d'un liant en excès d'un géotextile sur le support puis BB classique.	A ce jour, avec les techniques testées sur les chantiers les plus anciens, la remontée des fissures a été pratiquement aussi rapide qu'avec un BB seul mais les fissures remontées se dégradent moins ; l'étanchéité est maintenue par le géotextile.	La technique nécessite une optimisation : - les produits ont récemment été optimisés en laboratoire (choix des liants (modifiés...), des géotextiles...), - les règles de l'art de l'application sont à préciser et surtout à bien respecter sur chantiers (joints).
GEOTEXTILES IMPREGNES DE LIANTS BITUMINEUX + ENDUIT	Collage à l'aide d'un liant (bitume éventuellement élastomère) en excès d'un géotextile sur le support puis enduit.	Cette technique conduit à une préservation de l'imperméabilité et de la continuité de la surface (*).	Utilisable pour des trafics $\leq T2$ en respectant évidemment les règles de l'art des techniques déjà testées positivement.
PONTAGE PREALABLE PAR LIANTS BITUMINEUX + BB OU ENDUIT	Scellement par pontage des fissures puis BB ou enduit.	Remontée assez lente des fissures en surface. Apparition localisée de déformations au droit des fissures.	Technique opérationnelle. Avant enrobé d'entretien si $T < T1$. Les règles de l'art doivent être particulièrement suivies, en particulier pour éviter le collage aux pneumatiques des scelllements lors de l'application de l'enrobé.
GEOGRILLES IMPREGNEES DE LIANTS BITUMINEUX + BETON BITUMINEUX	Collage à l'aide d'un liant en excès d'une géogrille puis BB classique.	Plutôt négatif.	A réétudier cas par cas.
PONTAGE PAR BANDES PREFABRIQUEES	Pontage de la fissure par bandes préfabriquées, collées.	A ce jour négatif (souvent 2 fissures au lieu d'une).	

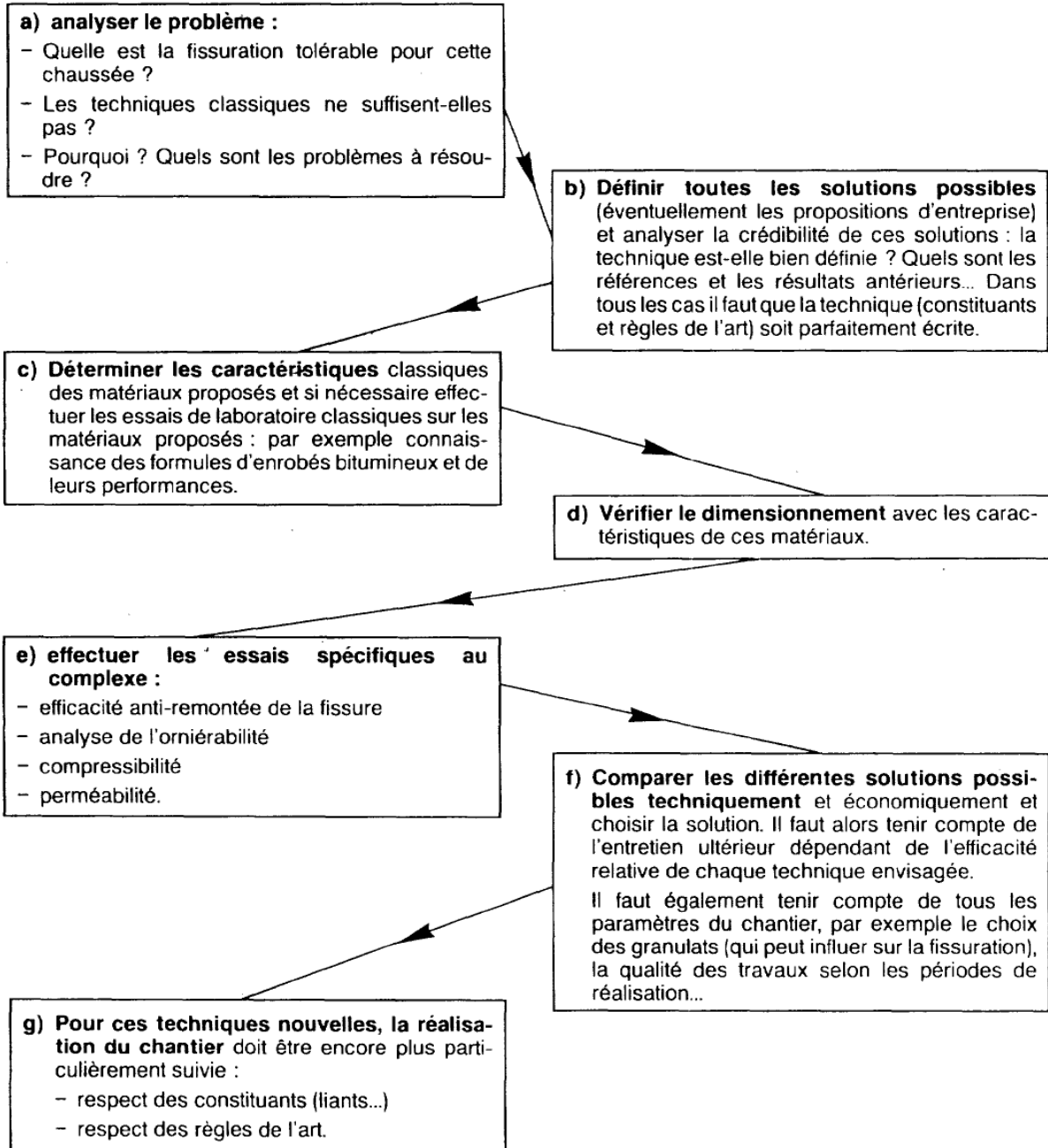
(*) ARMACO procédé COCHERY-BOURDIN-CHAUSSE de ce type a fait l'objet d'une distinction dans le cadre du concours des techniques innovantes de la Direction des Routes.

BB : béton bitumineux.

Annexes

Que doit faire le maître d'œuvre lorsqu'il veut utiliser un de ces procédés

Tous ces procédés doivent être étudiés avant leur application ; ils pourront ultérieurement faire l'objet d'avis techniques. Il peut être utile de rappeler les préceptes suivants sur la méthodologie d'approche de nouveaux produits.



Annexes

SETRA – CSTR / LPC, Mars 1990. Note d'information, chaussées dépendances 55, Règles de l'art pour limiter la remontée de fissures à la surface des chaussées semi-rigides (à couche de base traitée aux liants hydraulique).

La fissuration de retrait des matériaux d'assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques est inévitable. L'apparition des fissures fines et nettes à la surface est considérée comme une évolution normale des chaussées comprenant ces matériaux. La présente note rappelle les règles de l'art à respecter pour éviter l'apparition de fissures larges et se dégradant notablement et limiter l'apparition de fissures de surface à des fissures fines et nettes et ne nécessitant pas d'entretien structurel.

CAS D'ÉVOLUTION DE LA CHAUSSÉE AU VOISINAGE DES FISSURES			
LES CAUSES	LE DEFAUT	LES CONSEQUENCES	COMMENT EVITER LE DEFAUT
Mauvaise formule Défaut de fabrication Compactage insuffisant ou hétérogène	Résistance à la rupture insuffisante du matériau traité	L'assise se désagrège au voisinage des fissures	<ul style="list-style-type: none"> • Rejeter les formules qui conduisent, à terme, à des performances mécaniques trop faibles. • Respecter les règles d'une bonne fabrication et d'une bonne mise en œuvre permettant d'obtenir, en place, les performances prévues à l'étude.
Granulats très fins et sans squelette (exemple : sables fins) Granulats tendres ou évolutifs	Mauvaise résistance à l'abrasion du matériau traité	Usure du matériau au droit de la fissure par création de fines	Ne pas employer de <i>matériaux fins ou tendres</i> en couche de base sans la protection mécanique <i>d'une couche supérieure d'épaisseur suffisante même si la résistance à la rupture du matériau traité est élevée</i>

NOTA : Il faut également noter que la composition de l'enrobé bitumineux a un rôle important dans la résistance à la dégradation au niveau des fissures : ainsi un enrobé plus compact et en teneur en liant plus forte résiste mieux.

Annexe 2 : Tableaux

Service technique de l'Aviation civile, janvier 2007. Les chaussées aéronautiques.

Particularités des chaussées aéronautiques par rapport aux chaussées routières

Chaussées routières	Chaussées aéronautiques
Charges appliquées	
La réglementation française limite à 130 kN (13 t) la charge à l'essieu pour les essieux isolés et à 210 kN (21 t) pour les essieux multiples.	Pas de limitation de charges, pouvant aller jusqu'à 25-30 tonnes à la roue.
La pression des pneumatiques ne doit pas dépasser 0,8 MPa (8 bars). L'application des charges présente une très faible dispersion latérale sur une voie de circulation dont la largeur ne dépasse pas 3,5 m en ligne droite.	Les pressions des pneumatiques peuvent atteindre plus de 1,5 MPa (15 bars) pour certains types d'aéronefs. Sur les pistes, dont la largeur peut atteindre plus de 45 m, le trafic est dispersé et la configuration des atterrisseurs variables d'un avion à l'autre. Sur les voies de dégagement ou de manœuvres les charges sont moins dispersées.
Les charges les plus agressives ne sont pas appliquées à une vitesse de plus de 80 à 90 km/h.	Vitesses variables : - très faibles, générant des phénomènes de poinçonnement important sur la couche superficielle - très élevées, notamment au décollage et à l'atterrissage (supérieures à 300 km/h)
Très grande circulation de charges relativement peu élevées qui engendre une fatigue principalement due à la répétition importante de charges (de l'ordre d'un million de mouvements) entraînant de faibles déformations.	Très faible circulation de charges diverses qui induit une fatigue due à une répétition restreinte de charges lourdes (de l'ordre de 10 000 répétitions) engendrant de grandes déformations.
Particularités	
Uni (défauts de surface) lié au confort des usagers	Uni de surface lié en majeure partie à la sécurité des avions lors du roulage à grande vitesse
Rugosité évoluant essentiellement par le polissage des granulats au cours du temps	Rugosité beaucoup plus évolutive due au dépôt de gomme
Déviations et interruption du trafic en cas d'interventions sur la chaussée	Trafic dont les contraintes d'exploitation et de sécurité ne permettent généralement pas son interruption ni même son aménagement sans de grandes difficultés, en vue d'entretenir les couches de roulement
Pourcentage des pentes à respecter : - Profil en long $\leq 9\%$ - Profil en travers (ligne droite) $\leq 2,5\%$ - Profil en travers (courbe) $\leq 7,5$ ou 9%	Pourcentage des pentes à respecter : - Profil en long piste $\leq 1,5\%$ - Profil en travers piste $\leq 1,5\%$ - Pente transversale voies de relation $\leq 1,5\%$ - Pente poste de stationnement $\leq 1\%$ dans toutes les directions

Annexes

Tableau : caractéristiques demandées aux bétons de chaussées rigides

	<i>Béton de fondation</i>	<i>Béton de roulement</i>
<i>Dosage minimum en ciment</i>	<i>150 kg / m³</i>	<i>330 kg / m³</i>
<i>Consistance (affaissement au cône d'Abrams)</i>	<i>1 à 5 cm</i>	<i>1 à 5 cm</i>
<i>Teneur en air occlus (essai à l'aéromètre à béton)</i>	<i>3 à 6 %</i>	<i>3 à 6 %</i>
<i>Résistance moyenne en traction par fendage</i>	<i>1,8 Mpa (ou 20 Mpa en compression)</i>	<i>3,6 Mpa</i>

Le relevé visuel de l'aérodrome d'Adrar est représenté sur le tableau suivant :

L'inspection visuelle de la chaussée a été effectuée par maillages de (20 x 30) m² de chaque section sur une longueur de 100 m.

Une section est mentionnée par la lettre S.

Une maille est mentionnée par la lettre M.

Annexes

1) La piste :

Du PM : 0 au 100m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	38	Léger
	M2	109	Léger
	M3	120	Léger
	M4	116	Léger
	M5	210 ; 13	Léger ; moyen
-Fissure de joint	M1	62	Léger
	M3	53	Léger
	M4	67	Léger
	M5	22	moyen
-Fissure de retrait	M1	7	Léger
	M3	5	Léger

Annexes

Du PM : 100 au 200 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	128	Léger
	M2	102 ;50 ;8	Léger ;moyen ;élevé
	M3	78 ;33 ;9	Léger ;moyen ;élevé
	M4	129 ;19	Léger ; moyen
	M5	56 ;71	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	27	Léger
	M2	22	Léger
	M3	41 ;20	Léger ; moyen
	M4	101	Léger
	M5	23 ;21 ;3	Léger ; moyen ;élevé
-Fissure de retrait	M2	17 ;36 ;2	Léger; moyen ;élevé
	M3	56	Léger
	M4	76 ; 2	Léger; moyen
	M5	34 ;14	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 200 au 300 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	106 ;102 ;04	Léger;moyen ;élevé
	M2	87 ;80	Léger ;moyen
	M3	67 ;50 ;07	Léger ;moyen ;élevé
	M4	65 ;15	Léger ; moyen
	M5	25 ;28	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	42 ;11	Léger; moyen
	M2	41 ;64	Léger; moyen
	M3	26 ;30 ;10	Léger ; moyen ; élevé
	M4	22 ;34	Léger ; moyen
	M5	22	Léger
-Fissure de retrait	M1	28 ;2	Léger; moyen
	M2	31 ;8	Léger ; moyen
	M3	56 ;5	Léger; moyen
	M4	23 ;1	Léger; moyen
	M5	25 ;24	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M5	140	L'unité en M ²

Annexes

Du PM : 300 au 400 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue		57 ;42	Léger;moyen
	M1	26 ;101	Léger ;moyen
	M2	132 ;132	Léger ;moyen
	M3	82 ;128	Léger ; moyen
	M4	142 ;81 ;11	Léger ;moyen;élevé
	M5		
-Fissure de joint	M1	57 ;5	Léger; moyen
	M2	33 ;40 ;10	Léger; moyen; élevé
	M3	4 ;40	Léger ; moyen
	M4	22 ;20	Léger ; moyen
	M5	24 ;21	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	42 ; 5	Léger; moyen
	M2	30 ;15	Léger ; moyen
	M3	10	Léger
	M4	4	Léger
	M5	45 ;5	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	150	L'unité en M ²
	M2	30	
	M4	30	
	M5	33	

Annexes

Du PM : 400 au 500 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	59 ;31 ;20	Léger;moyen ;élevé
	M2	99 ;107	Léger ;moyen
	M3	6 ;152 ;27	Léger ;moyen ;élevé
	M4	65 ;144	Léger ; moyen
	M5	58 ;117 ;1	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	40 ;23	Léger; moyen
	M2	57 ;6	Léger; moyen
	M3	8 ;58	Léger ; moyen
	M4	43 ;10 ;10	Léger ; moyen; élevé
	M5	23 ;1	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	3 ;64	Léger; moyen
	M2	11 ;38 ;1	Léger ; moyen; élevé
	M3	4 ;22	Léger; moyen
	M4	06 ;06	Léger; moyen
	M5	15 ;12 ;05	Léger; moyen ; élevé
-Dépôt de gomme	M1	140	L'unité en M ²
	M2	20	
	M3	260	
	M4	260	
	M5	280	

Annexes

Du PM : 500 au 600 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	33 ;90 ;29	Léger;moyen ;élevé
	M2	74 ;121	Léger ;moyen
	M3	75 ;110	Léger ;moyen
	M4	55 ;78	Léger ; moyen
	M5	107 ;107	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	23 ;20	Léger; moyen
	M2	22 ;2	Léger; moyen
	M3	21 ;11	Léger ; moyen
	M4	33 ;30	Léger ; moyen
	M5	22 ;1	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	6 ;14 ;03	Léger; moyen; élevé
	M2	3 ;10	Léger ; moyen
	M3	4 ;02	Léger; moyen
	M4	6 ;57 ;10	Léger; moyen; élevé
	M5	10 ;1	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	240	L'unité en M ²
	M2	260	
	M3	280	
	M4	280	
	M5	260	

Annexes

Du PM : 600 au 700 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	77 ;64	Léger;moyen
	M2	157 ;40	Léger ;moyen
	M3	55 ;90	Léger ;moyen
	M4	50 ;109 ;20	Léger ; moyen;élevé
	M5	60 ;68 ;2	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	23 ;20	Léger; moyen
	M2	22 ;2	Léger; moyen
	M3	20 ;13	Léger ; moyen
	M4	23 ;21	Léger ; moyen
	M5	22 ;1 ;04	Léger ; moyen; élevé
-Fissure de retrait	M1	33 ;70	Léger; moyen
	M2	05 ;08	Léger ; moyen
	M3	74 ;13	Léger; moyen
	M4	07 ;30	Léger; moyen
	M5	21 ;105	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	280	L'unité en M ²
	M2	160	
	M3	280	
	M4	140	
	M5	140	

Annexes

Du PM : 700 au 800 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	123 ;65	Léger;moyen
	M2	112 ;24	Léger ;moyen
	M3	155 ;43	Léger ;moyen
	M4	55 ;101	Léger ; moyen
	M5	77 ;81 ;11	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	22 ;21	Léger; moyen
	M2	23 ;33	Léger; moyen
	M3	43 ;19	Léger ; moyen
	M4	21 ;11 ;10	Léger ; moyen; élevé
	M5	40 ;53	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	17 ;15	Léger; moyen
	M2	6 ;51	Léger ; moyen
	M3	23 ;2	Léger; moyen
	M4	11 ;30	Léger; moyen
	M5	5 ;14	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	280	L'unité en M ²
	M2	100	

Annexes

Du PM : 800 au 900 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	144 ;37	Léger;moyen ;élevé
	M2	106 ;2	Léger ;moyen
	M3	85 ;56	Léger ;moyen
	M4	56 ;70 ;58	Léger ; moyen;élevé
	M5	79 ;77	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	23 ;20	Léger; moyen
	M2	55 ;12	Léger; moyen
	M3	20 ;3	Léger ; moyen
	M4	23 ;20 ;07	Léger ; moyen; élevé
	M5	7 ;40	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	49 ;09	Léger; moyen
	M2	15 ;100	Léger ; moyen
	M3	23 ;107 ;02	Léger; moyen
	M4	05 ;75	Léger; moyen
	M5	45 ;75 ;1	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 900 à 1000 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue		60 ;90	
	M1	55 ;130	Léger;moyen
	M2	5 ;60 ;23	Léger ;moyen
	M3	42 ;95	Léger ;moyen
	M4	21 ;60 ;1	Léger ; moyen
	M5		Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	21 ;21	Léger; moyen
	M2	21 ;20	Léger; moyen
	M3	41 ;20	Léger ; moyen
	M4	21 ;11 ;10	Léger ; moyen; élevé
	M5	12 ;40	Léger ; moyen
-Faiencage de retrait	M1	20 ;73	Léger; moyen
	M2	26 ;45	Léger ; moyen
	M3	86 ;66 ;4	Léger; moyen
	M4	71 ;71	Léger; moyen
	M5	23 ;38 ;1	Léger; moyen ;élevé

Annexes

Du PM : 1000 à 1100 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	53 ;41	Léger;moyen
	M2	60 ;50	Léger ;moyen
	M3	61 ;36	Léger ;moyen
	M4	81 ;33	Léger ; moyen
	M5	51 ;30 ;20	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	41 ;30 ;10	Léger; moyen; élevé
	M2	45 ;10	Léger; moyen
	M3	51 ;40	Léger ; moyen
	M4	25 ;40	Léger ;moyen
	M5	21 ;40	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	21 ;2	Léger; moyen
	M2	11 ;50	Léger ; moyen
	M3	34 ;40 ;1	Léger; moyen;élevé
	M4	80 ;10	Léger; moyen
	M5	15 ;50 ;2	Léger; moyen ;élevé

Annexes

Du PM : 1100 à 1200 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	49 ;80 ;110	Léger;moyen ;élevé
	M2	90 ;20	Léger ;moyen
	M3	101 ;32	Léger ;moyen
	M4	23 ;20	Léger ; moyen
	M5	44 ;40	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	21 ;31	Léger; moyen
	M2	22 ;11	Léger; moyen
	M3	33 ;40	Léger ; moyen
	M4	22 ;40	Léger ;moyen
	M5	22 ;10	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	25 ;80	Léger; moyen
	M2	32 ;40	Léger ; moyen
	M3	25 ;60	Léger; moyen;élevé
	M4	31 ;22	Léger; moyen
	M5	40 ;30	Léger; moyen ;élevé

Annexes

Du PM : 1200 à 1300 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	82 ;61	Léger;moyen
	M2	75 ;70	Léger ;moyen
	M3	63 ;60	Léger ;moyen
	M4	100 ;31	Léger ; moyen
	M5	40 ;30 ;20	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	21	Léger
	M2	21 ;20	Léger; moyen
	M3	21 ;10	Léger ; moyen
	M4	32 ;20	Léger ;moyen
	M5	21 ;21	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	41 ;40	Léger; moyen
	M2	72 ;60	Léger ; moyen
	M3	70 ;33	Léger ;moyen
	M4	63 ;42	Léger; moyen
	M5	40 ;33	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 1300 à 1400 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	90 ;20	Léger;moyen
	M2	31 ;30	Léger ;moyen
	M3	40 ;11	Léger ;moyen
	M4	33 ;20	Léger ; moyen
	M5	80 ;60 ;10	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	21 ;20	Léger ;moyen
	M2	19 ;22	Léger; moyen
	M3	20 ;11	Léger ; moyen
	M4	33 ;20	Léger ;moyen
	M5	12 ;20 ;10	Léger ; moyen ;élevé
-Fissure de retrait	M1	46 ;60 ;10	Léger; moyen ;élevé
	M2	31 ;46	Léger ; moyen
	M3	22 ;31	Léger ;moyen
	M4	60 ;18	Léger; moyen
	M5	80 ;22	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 1400 à 1500 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	90 ;40	Léger;moyen
	M2	25 ;80	Léger ;moyen
	M3	40 ;65 ;20	Léger ;moyen ;élevé
	M4	62 ;85	Léger ; moyen
	M5	120 ;40	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	22 ;21	Léger ;moyen
	M2	18 ;40	Léger; moyen
	M3	22 ;22	Léger ; moyen
	M4	22 ;21	Léger ;moyen
	M5	60 ;21	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	41 ;80	Léger; moyen
	M2	61 ;60 ;1	Léger ; moyen
	M3	43 ;80	Léger ;moyen;élevé
	M4	71 ;61	Léger; moyen
	M5	60 ;30	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 1500 à 1600 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	73 ;36	Léger;moyen
	M2	27 ;42	Léger ;moyen
	M3	36 ;31	Léger ;moyen
	M4	64 ;36	Léger ; moyen
	M5	30 ;3	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	41 ;22	Léger ;moyen
	M2	42 ;21	Léger; moyen
	M3	21 ;41	Léger ; moyen
	M4	43 ;21	Léger ;moyen
	M5	24 ;42	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	81 ;62	Léger; moyen
	M2	41 ;81	Léger ; moyen
	M3	61 ;41	Léger ;moyen;
	M4	72 ;32	Léger; moyen
	M5	53 ;41	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 1600 à 1700 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	21 ;44	Léger;moyen
	M2	60 ;40	Léger ;moyen
	M3	41 ;55	Léger ;moyen
	M4	70 ;38	Léger ; moyen
	M5	30 ;60 ;10	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de joint	M1	66 ;22	Léger ;moyen
	M2	49 ;20	Léger; moyen
	M3	52 ;17	Léger ; moyen
	M4	62 ;31	Léger ;moyen
	M5	36 ;27	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	60 ;60	Léger; moyen
	M2	88 ;40	Léger ; moyen
	M3	70 ;46	Léger ;moyen
	M4	52 ;38	Léger; moyen
	M5	55 ;41 ;12	Léger; moyen ;élevé

Annexes

Du PM : 1700 à 1800 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	100 ;55	Léger;moyen
	M2	95 ;27	Léger ;moyen
	M3	70 ;09	Léger ;moyen
	M4	85 ;42	Léger ; moyen
	M5	105 ;45	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	87 ;25	Léger ;moyen
	M2	55 ;22	Léger; moyen
	M3	62 ;21	Léger ; moyen
	M4	67 ;31	Léger ;moyen
	M5	75 ;22	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	51 ;3	Léger; moyen
	M2	62 ;31	Léger ; moyen
	M3	43 ;22	Léger ;moyen
	M4	59 ;22	Léger; moyen
	M5	60 ;21	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 1800 à 1900 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	35 ;45	Léger;moyen
	M2	95 ;50	Léger ;moyen
	M3	70 ;41	Léger ;moyen
	M4	135 ;21	Léger ; moyen
	M5	80 ;33 ;17	Léger ;moyen ;élevé
-Fissure de joint	M1	41 ;42	Léger ;moyen
	M2	21 ;22	Léger; moyen
	M3	41 ;22	Léger ; moyen
	M4	42 ;21	Léger ;moyen
	M5	43 ;21	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	33 ;1	Léger; moyen
	M2	42 ;22	Léger ; moyen
	M3	42 ;21	Léger ; moyen
	M4	61 ;13	Léger; moyen
	M5	31 ;19	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 1900 à 2000 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	61 ;42	Léger;moyen
	M2	11 ;35	Léger ;moyen
	M3	22 ;09	Léger ;moyen
	M4	21 ;41	Léger ; moyen
	M5	82 ;15	Léger ;moyen
-Desenrobage	M4	122 M ²	Moyen
-Brûlure	M5	101 M ²	Moyen
-Pelade			
-Fissure de joint	M1	41 ;22	Léger ;moyen
	M2	23 ;41	Léger; moyen
	M3	41 ;42	Léger ; moyen
	M4	22 ;22	Léger ;moyen
	M5	22 ;21	Léger ; moyen
-Fissure de retrait	M1	61 ;04	Léger; moyen
	M2	52 ;13	Léger ; moyen
	M3	81 ;22	Léger ;moyen
	M4	63 ;35	Léger; moyen
	M5	25 ;46	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 2000 à 2100 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	20 ;02	Léger;moyen
	M2	68 ;30	Léger ;moyen
	M3	85 ;20	Léger ;moyen
	M4	46 ;70 ;09	Léger ; moyen ;élevé
	M5	33 ;25	Léger ;moyen
-Desenrobage -Brûlure -Pelade	M1	60M ²	Léger
	M2	30M ²	Léger
	M5	50M ²	Léger
-Fissure de joint	M1	21 ;21	Léger ;moyen
	M2	21 ;22	Léger; moyen
	M3	22 ;21	Léger ; moyen
	M4	21 ;20 ;11	Léger ;moyen ;élevé
	M5	21	Léger
-Fissure de retrait	M1	32 ;23	Léger; moyen
	M2	40 ;22	Léger ; moyen
	M3	60 ;12	Léger ;moyen
	M4	71 ;20	Léger; moyen
	M5	42 ;61	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M5	80	L'unité en M ²

Annexes

Du PM : 2100 à 2200 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	83 ;45 ;1	Léger;moyen ;élevé
	M2	29 ;2 ;3	Léger ;moyen ;élevé
	M3	31 ;31 ;3	Léger ;moyen ;élevé
	M4	45 ;51	Léger ; moyen
	M5	34 ;72 ;1	Léger ;moyen ;élevé
-Desenrobage	M1	37 M ²	Léger
-Brûlure			Léger
-Pelade			Léger
-Fissure de joint	M1	30 ;22	Léger ;moyen
	M2	20 ;20	Léger; moyen
	M3	40 ;21	Léger ; moyen
	M4	21 ;20	Léger ; moyen
	M5	21 ;20	Léger ;moyen
-Fissure de retrait	M1	22 ;30 ;2	Léger; moyen ;élevé
	M2	41 ;4 ;3	Léger ; moyen ;élevé
	M3	40 ;20	Léger ;moyen
	M4	22 ;70	Léger; moyen
	M5	63 ;15 ;1	Léger; moyen ;élevé
-Dépôt de gomme	M1	80	L'unité en M ²
	M2	40	
	M3	40	
	M4	45	
	M5	120	

Annexes

Du PM : 2200 à 2300 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	35 ;36 ;1	Léger;moyen ;élevé
	M2	61 ;52 ;2	Léger ;moyen ;élevé
	M3	23 ;20 ;2	Léger ;moyen ;élevé
	M4	22 ;21 ;15	Léger ; moyen ;élevé
	M5	32 ;19 ;3	Léger ;moyen ;élevé
-Fissure de joint	M1	21 ;20	Léger ;moyen
	M2	20 ;41	Léger; moyen
	M3	20 ;40	Léger ; moyen
	M4	22	Léger
	M5	25 ;23	Léger ;moyen
-Fissure de retrait	M1	42 ;22	Léger; moyen
	M2	80 ;4	Léger ; moyen
	M3	35 ;41	Léger ;moyen
	M4	96 ;20	Léger; moyen
	M5	51 ;36	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	120	L'unité en M ²
	M2	140	
	M3	160	
	M4	160	
	M5	165	

Annexes

Du PM : 2300 à 2400 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	52 ;36	Léger;moyen
	M2	61 ;24 ;2	Léger ;moyen ;élevé
	M3	57 ;42 ;3	Léger ;moyen ;élevé
	M4	55 ;30	Léger ; moyen
	M5	90 ;28 ;3	Léger ;moyen ;élevé
-Fissure de joint	M1	32 ;40	Léger ;moyen
	M2	30 ;45	Léger; moyen
	M3	25 ;25 ;4	Léger ; moyen ;élevé
	M4	22 ;31 ;3	Léger ; moyen ;élevé
	M5	22 ;20 ;5	Léger ;moyen;élevé
-Fissure de retrait	M1	42 ;4 ;2	Léger; moyen ;élevé
	M2	45 ;56 ;2	Léger ; moyen;élevé
	M3	21 ;22 ;1	Léger ;moyen;élevé
	M4	30 ;43	Léger; moyen
	M5	23 ;1	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	180	L'unité en M ²
	M2	180	
	M3	160	
	M4	140	
	M5	120	

Annexes

Du PM : 2400 à 2500 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	53 ;30 ;3	Léger;moyen ;élevé
	M2	43 ;52	Léger ;moyen
	M3	53 ;37	Léger ;moyen
	M4	31 ;46 ;1	Léger;moyen ;élevé
	M5	20 ;21 ;3	Léger;moyen ;élevé
-Fissure de joint	M1	41 ;23 ;15	Léger ; moyen ;élevé
	M2	21 ;41	Léger ;moyen
	M3	20 ;20	Léger; moyen
	M4	22 ;20	Léger; moyen
	M5	20	Léger
-Fissure de retrait	M1	22 ;1	Léger ; moyen
	M2	26 ;31 ;2	Léger ;moyen;élevé
	M3	46 ;11	Léger; moyen
	M4	20 ;12	Léger; moyen
	M5	11 ;32 ;3	Léger; moyen ;élevé
-Dépôt de gomme	M1	180	L'unité en M ²
	M2	160	
	M3	160	
	M4	160	
	M5	160	

Annexes

Du PM : 2500 à 2600 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	48 ;21 ;1	Léger;moyen ;élevé
	M2	37 ;07 ;2	Léger;moyen ;élevé
	M3	20 ;10	Léger ;moyen
	M4	26 ;19	Léger ;moyen
	M5	40 ;26	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	12 ;10	Léger ;moyen
	M2	12 ;11	Léger; moyen
	M3	22 ;11	Léger; moyen
	M4	23 ;21 ;1	Léger ; moyen ;élevé
	M5	12 ;11	Léger ;moyen
-Fissure de retrait	M1	32 ;30	Léger ; moyen
	M2	30 ;15	Léger ;moyen
	M3	28 ;12	Léger; moyen
	M4	32 ;2	Léger; moyen
	M5	21 ;11	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	160	L'unité en M ²
	M2	160	
	M3	140	
	M4	120	
	M5	120	

Annexes

Du PM : 2600 à 2700 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	20 ;21	Léger;moyen
	M2	12 ;31 ;1	Léger;moyen ;élevé
	M3	40 ;12	Léger ;moyen
	M4	32 ;15 ;1	Léger ;moyen;élevé
	M5	33 ;10	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	11 ;11	Léger ;moyen
	M2	12 ;11	Léger; moyen
	M3	22 ;3	Léger; moyen
	M4	12 ;10	Léger ; moyen
	M5	10 ;15	Léger ;moyen
-Fissure de retrait	M1	33 ;12	Léger ; moyen
	M2	11 ;11	Léger ;moyen
	M3	16 ;12	Léger; moyen
	M4	20 ;10	Léger; moyen
	M5	06 ;09	Léger; moyen
-Dépôt de gomme	M1	100	L'unité en M ²
	M2	101	
	M3	30	

Annexes

Du PM : 2700 à 2800 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	22 ;25	Léger;moyen
	M2	14 ;26 ;1	Léger;moyen ;élevé
	M3	15 ;3	Léger ;moyen
	M4	21 ;21	Léger ;moyen
	M5	22 ;15	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	23 ;2	Léger ;moyen
	M2	21	Léger
	M3	23 ;20	Léger; moyen
	M4	20	Léger
	M5	24 ;1	Léger ;moyen
-Fissure de retrait	M1	16 ;25	Léger ; moyen
	M2	20 ;01	Léger ;moyen
	M3	12 ;13	Léger; moyen
	M4	05 ;02	Léger; moyen
	M5	13 ;20	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 2800 à 2900 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	12 ;15	Léger;moyen
	M2	10 ;19	Léger;moyen
	M3	20 ;04	Léger ;moyen
	M4	26 ;08	Léger ;moyen
	M5	32 ;10	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	10 ;02	Léger ;moyen
	M2	09 ;10	Léger ;moyen
	M3	20 ;01	Léger; moyen
	M4	22 ;05	Léger ;moyen
	M5	23 ;01	Léger ;moyen
-Fissure de retrait	M1	11 ;12	Léger ; moyen
	M2	22 ;12	Léger ;moyen
	M3	15 ;15.	Léger; moyen
	M4	35 ;10	Léger; moyen
	M5	12 ;13	Léger; moyen

Annexes

Du PM : 2900 à 3000 m

Dégradations observées	Mailles	Longueur en mètre	Niveau de gravité
-Fissure de fatigue	M1	23 ;5	Léger;moyen
	M2	30 ;11	Léger;moyen
	M3	11 ;16	Léger ;moyen
	M4	10 ;12	Léger ;moyen
	M5	10 ;10	Léger ;moyen
-Fissure de joint	M1	20	Léger
	M2	19 ;01	Léger ;moyen
	M3	15	Léger
	M4	10	Léger
	M5	05	Léger
-Fissure de retrait	M1	10 ;06	Léger ; moyen
	M2	09 ;08	Léger ;moyen
	M3	12 ;03	Léger; moyen
	M4	13 ;04	Léger; moyen
	M5	14 ;05	Léger; moyen

Annexe 3 : Figures

Abaque 1 : Coefficient de réduction utilisable pour le dimensionnement du renforcement (souple) d'une chaussée rigide peu dégradée

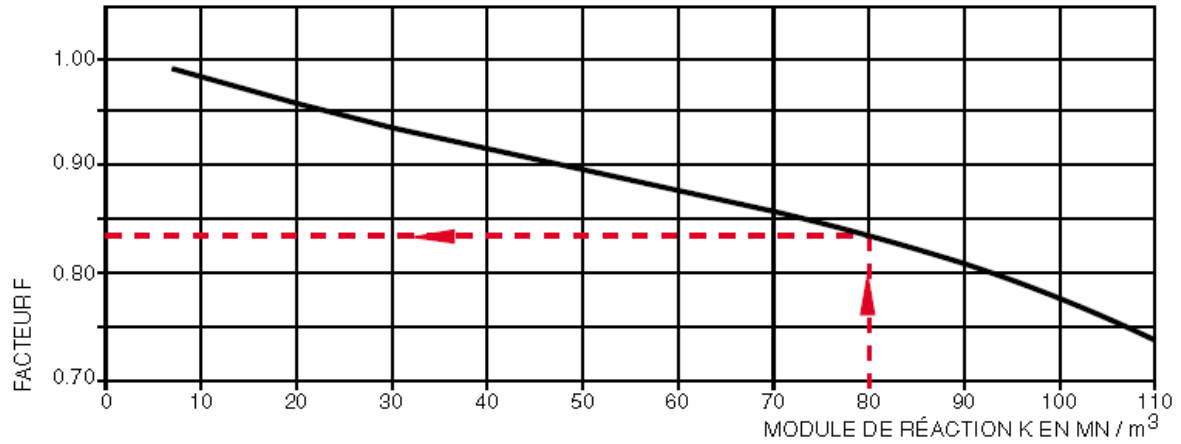
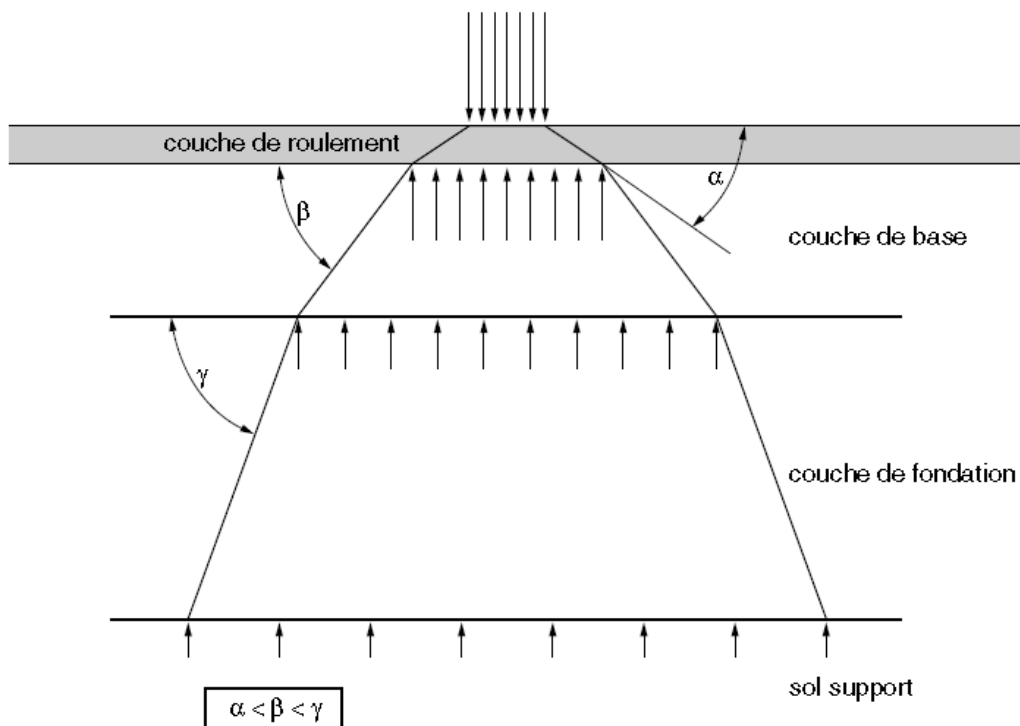


Figure 1 : Répartition de la charge d'une roue d'atterrisseur dans les différentes couches de matériaux constituant une chaussée souple



Abaque : courbe de référence traduisant l'évolution de l'indice de service dans le temps

Annexes

