



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université d'Ain-Temouchent - Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil & Travaux Publics

Mémoire pour l'Obtention du diplôme de Master
Filière : Travaux Publics

Spécialité : VOIES ET OUVRAGE D'ART

Thème :

**LES MESURES DE L'ADHERENCE DES CHAUSSEES
ROUTIERES :ETUDE DE CAS DE RN 101 ET L'AUTOROUTE A01**

PRESENTE PAR :

BENAMARA ABIR AHLEM

SOUTENU LE : 03 /07/2023

DEVANT LE JURY COMPOSE DE :

PRESIDENT : DR DJELIL MOHAMED

EXAMINATEUR : DR AISSAOUI SOUFYANE

ENCADREUR : DR GUELLIL MOUSTAFA KHADHIR

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère.

A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père « BENAMARA BOUHAÏSE »

*A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère
« BENMEDAHE HOUARJA »*

A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur donne une longue et joyeuse vie.

A tous les cousins, les voisins et les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant. Merci pour leurs amours et leurs encouragements.

Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à notre cher professeur et encadrant Dr. Guellil Moustafa pour son suivi et pour son énorme soutien, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période du projet.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Mr KADOU Adel pour votre soutien et votre aide précieuse. Votre présence et votre soutien ont été d'une grande importance pour nous. Votre expertise et votre générosité nous ont permis de surmonter les défis auxquels nous étions confrontés.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres des jurys pour avoir bien voulu examiner et juger ce travail.

Mes remerciements vont à tout le personnel que j'ai contacté durant mon stage M. SASLI MERDJI auprès desquelles j'ai trouvé l'accueil chaleureux, l'aide et l'assistance dont j'ai besoin.

Je ne laisserai pas cette occasion passer, sans remercier tous les enseignants « Sidi Mohammed AISSA MAMOUNE » et madame « Hafida MAROUF » cheffe de département science et technologie, et particulièrement pour leur aide et leurs précieux conseils et pour l'intérêt qu'ils portent à ma formation.

Enfin, mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin au bon déroulement de ce projet.

Résumé

L'adhérence de la surface de la route est un facteur crucial pour assurer la sécurité routière et réduire les risques d'accidents. Le but de ce mémoire de fin d'étude est de réaliser des tests de mesure in-situ du coefficient de frottement longitudinal à l'aide de l'essai au pendule SRT.

Ces mesures seront effectuées sur deux surfaces de chaussée différentes à savoir une couche de roulement en béton bitumineux (BB) de la route nationale RN101 et une couche de roulement en béton bitumineux mince de classe A (BBMA) de l'autoroute est-ouest (section de sidi bel Abbes) pour mettre en évidence l'influence de la nature de la couche de roulement sur le coefficient de frottement longitudinal.

Mots clés : sécurité, surface de chaussée, adhérence, essai au pendule, coefficient de frottement.

Abstract

Road surface grip is a crucial factor in ensuring road safety and reducing the risk of accidents. The purpose of this dissertation is to carry out in-situ measurement tests of the longitudinal friction coefficient using the SRT pendulum test.

These measurements will be carried out on two different pavement surfaces, namely a bituminous concrete wearing course (BB) of the national road RN101 and a class A thin bituminous concrete wearing course (BBMA) of the east-west motorway (Sidi Bel Abbes section) to highlight the influence of the nature of the wearing course on the longitudinal friction coefficient.

Keywords: safety, road surface, grip, pendulum test, coefficient of friction.

ملخص

يعد التماسك على سطح الطريق عاملاً حاسماً في ضمان السلامة على الطريق وتقليل مخاطر الحوادث. الغرض من هذه الرسالة هو إجراء اختبارات قياس في الموقع لمعامل الاحتكاك الطولي باستخدام اختبار البندول .SRT

سيتم إجراء هذه القياسات على سطحين مختلفين من الرصيف، وهما مسار ليس خرساني بيتوميني (BB) للطريق الوطني RN 101 وطبقة A طبقة رقيقة لارتداء الخرسانة البيتومينية (BBMA) للطريق السريع بين الشرق والغرب قسم سيدي بلعباس) لإبراز تأثير طبيعة دورة الارتداء على معامل الاحتكاك الطولي

الكلمات المفتاحية:

الأمان، سطح الطريق، المقبض، اختبار البندول، معامل الاحتكاك

Sommaire

i. Chapitre 01 : Généralités sur les Revêtement de Chaussées	2
i.1 Introduction :	3
i.2 Définition De La Chaussée :	3
i.3 Constituants d'une chaussée routière :	3
i.4 Les différents types de chaussée :	5
i.5 Les revêtements des chaussées utilisées en Algérie :	9
i.6 Revêtements de nouvelle génération	11
i.7 Conclusion	14
ii. Chapitre 02 : Les Facteurs D'influence De L'adhérence	14
ii.1 Introduction :	15
ii.2 Définition de L'adhérence :	15
ii.3 Facteurs influençant l'adhérence :	15
ii.4 Texture des revêtements de chaussées :	16
ii.5 La macro texture Et la micro texture :	16
❖ La micro texture :	17
➤ Les essais basés sur la texture (en laboratoire) :	18
➤ Test du pendule britannique :	18
➤ La Micro texture Sur Granulat (Essai De Polissage) :	19
❖ La macro texture :	21
➤ Essai PSV (Polished Stone Value) :	22
➤ Patch de sable :	23
➤ Méthode volumétrique (Essai à la tâche) :	24
➤ Méthode profil métrique (Rugolaser) :	25
ii.6 Les caractéristiques de la surface de la chaussée :	26
➤ Matériaux constituant la couche de surface (roulement) :	26
➤ Choix de la couche de roulement :	26

➤ La couche de roulement et ses fonctions :.....	27
ii.7 Présence de polluants sur la chaussée :.....	28
ii.8 Les paramètres opérationnels du véhicule :.....	28
• La force centrifuge :.....	28
• La dérive :.....	29
ii.9 Influence du pneumatique :.....	30
• Le type de pneumatique :.....	31
• Composition et fabrication du pneu :.....	31
ii.10 Conditions climatiques :.....	32
• La température :.....	32
• Humidité :.....	33
ii.11 Evolution de l'adhérence au cours du temps :.....	34
ii.12 Conclusion :.....	35
iii. Chapitre 03 : Mesure de l'adhérence des chaussées	37
iii.1 Introduction :.....	38
iii.2 Principes généraux de l'évaluation de l'adhérence des chaussées :.....	38
iii.3 Mesure du coefficient de frottement longitudinal (CFL) :.....	38
iii.3.1 Appareils de mesure :.....	40
➤ Le Pendule SRT :.....	40
➤ Type des patins :.....	41
➤ Mesures sur site :.....	41
➤ Éléments supplémentaires nécessaires pour l'essai :.....	42
➤ L'Adhéra :.....	43
iii.4 Mesure frottement transversal CFT :.....	43
iii.5 Appareil de mesure :.....	45
➤ Le SCRIM :.....	45
iii.6 Travaux sur la mesure de l'adhérence en Algérie :.....	46
iii.7 Conclusion :.....	47

iv. Chapitre4: Compagne d’essais in-situ : cas de la RN 101 et l’autoroute A01	48
iv.1 Introduction :	49
iv.2 Réseau routier de la wilaya de Ain Temouchent :	49
iv.3 Climatologie de la zone d’étude :	50
➤ Ain Témouchent :[13]	50
➤ Précipitations Moyennes Mensuelles (A.T) :	50
➤ Températures Moyennes Mensuelles (A.T) :	50
➤ Taux d’humidité relative (A.T):	51
➤ Sidi Bel Abbes [13]	51
➤ Précipitations Moyennes Mensuelles (SBA):	52
➤ Températures Moyennes Mensuelles (SBA) :	52
➤ Taux D’humidité Relative Et Inconfort Par Rapport À La Température(SBA):	53
iv.4 Mesure du coefficient de frottement longitudinal in-situ :	54
• Matériels de mesures (Pendule S.R.T) :	54
• Principe de l’essai :	55
• But de l’essai :	55
• Mode opératoire selon la NF P 18-578 :	55
iv.5 Campagnes de mesures :	56
➤ La composition de la couche de roulement de la RN101 :	57
➤ La composition de la couche de roulement de la A01 :	58
iv.6 Résultats et discussions :	59
• RN 101 :	59
• A01 :	61
• La comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01 :	63
iv.7 Conclusion :	66
Conclusion général	68
Références bibliographique :	69

Liste Des Figures

Figure1:structures des différent couches qui constituent un chaussée[18].....	4
Figure2 : Les différentes couches de la chaussée.[2]	5
Figure3 : Différents types de chaussée.....	7
Figure 4 : Chaussée en béton armé continu (BAC)	7
Figure 5 : Chaussée en béton désactivé	8
Figure 6 : pose du pavé autobloquant.....	8
Figure7 :Chaussée en béton bitumineux (BBG)	9
Figure8 :Chaussée en béton de ciment (BCC)	10
Figure9: photo d'un enduits superficiel[6]	10
Figure10: photo les différent couche D'enduits superficiel.....	11
Figure11 : photo d'enrobés à froid	11
Figure 12 : enchanions de béton poreux	12
Figure 13 : exemple Revêtement en asphalte modifié	13
Figure 14 :teste des rues antibruit exactement a ville de paris	13
Figure 15 : La macro texture Et la micro texture.....	16
Figure 16 : Plages de texture des différents appareils de mesure	17
Figure 17:Variation du coefficient du frottement en fonction de la micro texture.	17
Figure 18:Evolution de l'adhérence en fonction de la hauteur d'eau : a) avec différentes vitesses, b) avec différentmicro texture.....	18
Figure 19 :Testeur à pendule britannique:.....	19
Figure 20 :(a) Le microscope optique 3D. (b) Acquisition de la surface du granulat[10]	19
Figure 21 : L'échantillon de polissage des agrégats	20
Figure 22 :L'appareil de polissage Wehner/Schulze.....	20
Figure 23:Variation des mesures d'adhérence[31].....	21
Figure24 : macro texture des revêtements de chaussée, tailles caractéristiques.....	22
Figure 25 : Préparation des éprouvettes.....	22
Figure 26 : Tests de patch de sable en laboratoire[10]	24
Figure 27: Mesure de la macro texture PMT.....	24
Figure 28 : principe de rugolaser	25
Figure 29 : Méthode profil métrique (Rugolaser)	26
Figure 30 :Illustration de la force centripète	28
Figure 31: Mise en dérive d'une roue	29

Figure 32 : largeur de l'aire de contact sur le débit d'eau à évacuer.....	30
Figure 33 : Sculptures orientées pour drainer l'eau vers les côtés[21]	31
Figure 34 : quelque Types des pneus	31
Figure 35 : composition du pneu	32
Figure 36 : Schématisation d'un affaissement transversal et longitudinal[15]	33
Figure 37 : fissuration longitudinal	34
Figure38 : pendule SRT.....	41
Figure39 :quelque éléments supplémentaires	43
Figure 40: La paille de L'Adhéra.....	43
Figure 41 : Principe de calcul du coefficient de frottement transversal[7]	44
Figure 42:Variation saisonnière du coefficient de frottement transversal.....	44
Figure 43: L'appareil SCRIM.....	45
Figure 44 :carte du réseaux–routier de-Ain-Temouchent.....	49
Figure 45:température moyenne de ain temouchent (A.T)[13]	51
Figure 46: humidité relative (A.T) [13].....	51
Figure 47: Précipitation total moyenne SBA [13].....	52
Figure 48 :température moyenne de aine t'émouchent (SBA)[13]	53
Figure 49:humidité relative (SBA)[13].....	53
Figure 50 : Photo prise au cours d'une mesure du CFL sur la RN101	56
Figure 51:Positons des essais sur la RN101(1 ^{er} campagne d'essai).....	57
Figure 52 : Positions des essais sur la A01(2 èmecampagne d'essai).....	58
Figure 55: courbe de CFL à l'état humide et sec (essai 01)	61
Figure 56: courbe de CFL à l'état humide et sec (essai 02).....	62
Figure 57: comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01 a l'Etat humide.....	64
Figure 58 : comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01 a l'Etat sec	64

Lise des tableaux

Tableau 1 : Eléments indicatifs pour le choix du revêtement routier[6]	27
Tableau 2:coefficient de frottement longitudinal dans la réglementation B40[16]	39
Tableau 3 : coefficient de frottement longitudinal normes algérienne dans la réglementation B40[16]	40
Tableau 4 :coefficient de frottement Transversal (Normes Européennes) dans la réglementation B40[27].....	44
Tableau 5:coefficient de frottement Transversal(Normes algérienne) dans la réglementation B40	45
Tableau 6 :La Formule de mélange BBMA 0/10-00 23 (source ADA)	59
Tableau 7 : Résultats de la 1 ^{ère} campagne d'essai à Sec.....	59
Tableau 8 : Résultats de la 1 ^{ère} campagne d'essai à état humide	60
Tableau 9 : Résultats de la 2 ^{em} campagne d'essai à état sec	61
Tableau 10 : Résultats de la 2 ^{em} campagne d'essai à état humide.....	62
Tableau 11: Correction de la température[6].....	63
Tableau 12 : Les résultats après la correction de la température.....	63
Tableau 13 : comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01	63
Tableau 14 : coefficient de frottement longitudinal normes algérienne dans la réglementation B40	65

Liste des abréviations

SRT :	Skidresistance tester
BB :	Beton bitumineux
GB :	Grave bitume
GT :	Grave traité
BPT :	Testeur de rondule britannique
BPN :	British pendulumnumber
PSV :	Polished stone value
MDT :	La profondeur moyenne de la texture macro de la chaussée
PMT :	La profondeur moyenne de la texture
HSC :	La hauteur au sable calculer
ECF :	Enrobé coulé à froid
CFL :	Coefficient de frottement longitudinal
CFT :	Coefficient de frottement transversal

Introduction général

L'adhérence des chaussées est un élément essentiel de la sécurité routière et joue un rôle crucial dans la prévention des accidents de la circulation. Lorsque nous conduisons, notre principal point de contact avec la route est les pneus de notre véhicule, et c'est grâce à l'adhérence entre les pneus et la chaussée que nous pouvons maintenir le contrôle de notre véhicule.

Une chaussée en bon état, avec une surface lisse et régulière, offre généralement une meilleure adhérence. Cependant, des facteurs tels que la présence d'eau, de neige, de glace ou de feuilles mortes peuvent réduire considérablement l'adhérence des chaussées, augmentant ainsi les risques d'aquaplanage ou de dérapage.

La texture de la surface de la chaussée joue également un rôle important dans l'adhérence. Une surface rugueuse peut améliorer l'adhérence, en particulier sous la pluie, car les aspérités de la surface permettent à l'eau de s'échapper et maintiennent une meilleure traction entre les pneus et la chaussée.

Les conditions météorologiques ont un impact significatif sur l'adhérence des chaussées. Par exemple, lorsqu'il pleut, la présence d'eau sur la route crée une couche mince entre les pneus et la chaussée, ce qui réduit l'adhérence. De même, lorsque la température chute et que la route gèle, la glace peut rendre les surfaces extrêmement glissantes et dangereuses pour la conduite.

Enfin, la qualité des pneus joue un rôle crucial dans l'adhérence des chaussées. Des pneus usés ou mal gonflés réduisent considérablement la capacité d'adhérence, car ils ont moins de surface de contact avec la route et une capacité de traction réduite.

Dans les différents chapitres de notre mémoire de fin d'étude, nous allons aborder tous les aspects liés à l'adhérence des revêtements de chaussée comme suit :

Chapitre 1 : Généralités sur les Revêtement de Chaussées

Chapitre 2 : Les facteurs d'influence de l'Adhérence

Chapitre 3 : mesurée l'adhérence des chaussée

Chapitre 4 : Compagne d'essais in-situ :cas de la RN 101 et l'autoroute A01Nous terminerons ce travail par une conclusion générale.



i. Chapitre 01 : Généralités sur les Revêtement de Chaussées



i.1 Introduction :

La qualité du revêtement joue un rôle essentiel dans l'adhérence des chaussées, ce qui en fait un aspect critique pour la sécurité des usagers de la route. Un revêtement de haute qualité assure une adhérence optimale entre les pneus des véhicules et la surface de la chaussée, ce qui permet de réduire les risques d'accidents et d'améliorer la sécurité routière. Une adhérence adéquate est particulièrement importante dans des conditions météorologiques défavorables, car elle aide les conducteurs à maintenir le contrôle de leur véhicule, réduisant ainsi les risques de glissements et de dérapages.

Un revêtement de qualité contribue également à prolonger la durée de vie de la chaussée. Il peut résister aux contraintes mécaniques, aux variations de température et aux agents environnementaux, minimisant ainsi l'usure due au trafic et aux conditions climatiques. Cela réduit les coûts d'entretien à long terme et permet d'offrir aux usagers de la route une expérience de conduite plus confortable et sûre.

i.2 Définition De La Chaussée :

La chaussée est une composante essentielle d'une route ou d'une voie de circulation. Elle désigne la partie de la voie réservée aux véhicules, située entre les accotements ou les bordures de la route. La chaussée est conçue pour supporter la circulation des véhicules et fournir une surface de roulement sûre et durable.

- **Au sens géométrique** : C'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.
- **Au sens structurel** : C'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise et la répartition des charges.[1]

i.3 Constituants d'une chaussée routière :

La chaussée est constituée de plusieurs couches :

Couche de surface (CS) : C'est la couche supérieure de la chaussée qui est en contact direct avec les véhicules. Elle est conçue pour offrir une surface lisse et résistante à l'usure. Les matériaux couramment utilisés comprennent l'asphalte (béton bitumineux) ou le béton.[2]

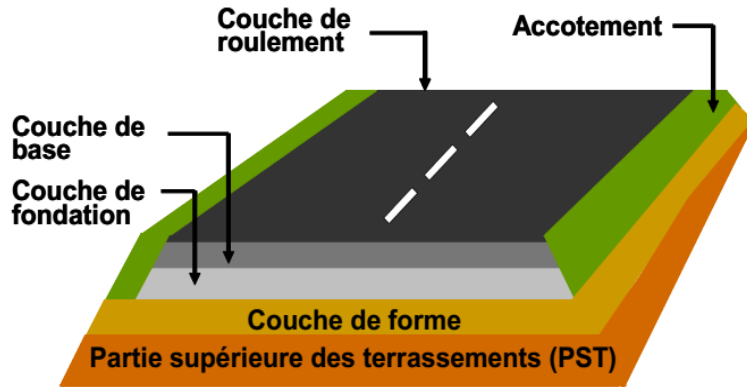


Figure 01:structures des différentes couches qui constituent un chaussée [18]

Elle est composée :

- Couche de roulement (CR) dont le rôle est de:
 - Encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation.
 - Imperméabiliser la surface de la chaussée.
 - Assurer la sécurité (adhérence).
 - Assurer le confort (bruit).

- Couche de liaison (CL) dont le rôle essentiel est de :
 - Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

I. Couche de base (CB) :

C'est une couche intermédiaire, permet le passage progressif entre la couche de roulement (CR) et la couche de fondation (CF).

Elle reprend les efforts verticaux et repartis les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

II. Couche de fondation (CF) :

Elle a le même rôle que celui de la couche de base. La couche de base et couche de fondation forment le « Corps de chaussée »

III. Couche de forme (CF) :

Elle est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support:[3]

- **Sur un sol rocheux** : Elle joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface.
- **Sur un sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée)** : Elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement.
- Actuellement, on tient de plus en plus compte du rôle de portance à long terme apporté

Par la couche de forme dans le dimensionnement et l'optimisation des structures de Chaussées.

- Eventuellement, une couche drainante ou anti-contaminant peut être intercalée entre la Couche de forme et la couche de fondation qui s'appelle « sous-couche »

En plus de ces composants de base, il est important de prendre en compte d'autres éléments tels que les bordures, les caniveaux, les dispositifs de drainage et les systèmes de signalisation routière pour garantir la sécurité et la fonctionnalité de la chaussée.[3]

i.4 Les différents types de chaussée :

Il existe 03 grandes familles de chaussée:[4]

- **Chaussées souples** : Les chaussées souples constituées par :
 - des couches superposées
 - de matériaux ayant une faible résistance à la traction.

Les couches supérieures sont généralement :

- plus résistantes
- moins déformable

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa Construction :

- plusieurs couches exécutées en matériaux différents,
- d'une épaisseur bien déterminée,

- ayant chacune un rôle aussi bien défini.

- Chaussées semi –rigides : elles sont constituées de :

- une couche de base,

- Quelquefois une couche de fondation) traitée au liant hydraulique (ciment, laitier granulé...)

- La couche de roulement est en enrobé hydrocarboné

Elle repose quelquefois par l'intermédiaire d'une couche de liaison également en enrobé hydrocarboné sur la couche de base traitée dont l'épaisseur strictement minimale doit être de 15 cm.

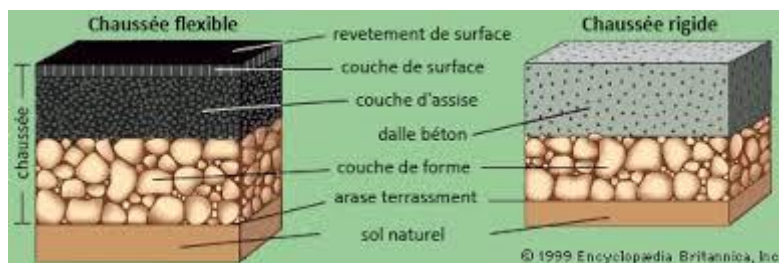


Figure2 : Les différents types de la chaussée.[2]

- Chaussées rigides : Elles sont constituées d'une dalle de béton de ciment, éventuellement armée (correspondant à la couche de surface de chaussée souple) reposant sur une couche de fondation qui peut être :
 - une grave stabilisée mécaniquement,
 - une grave traitée aux liants hydrocarbonés ou aux liants hydrauliques[1]

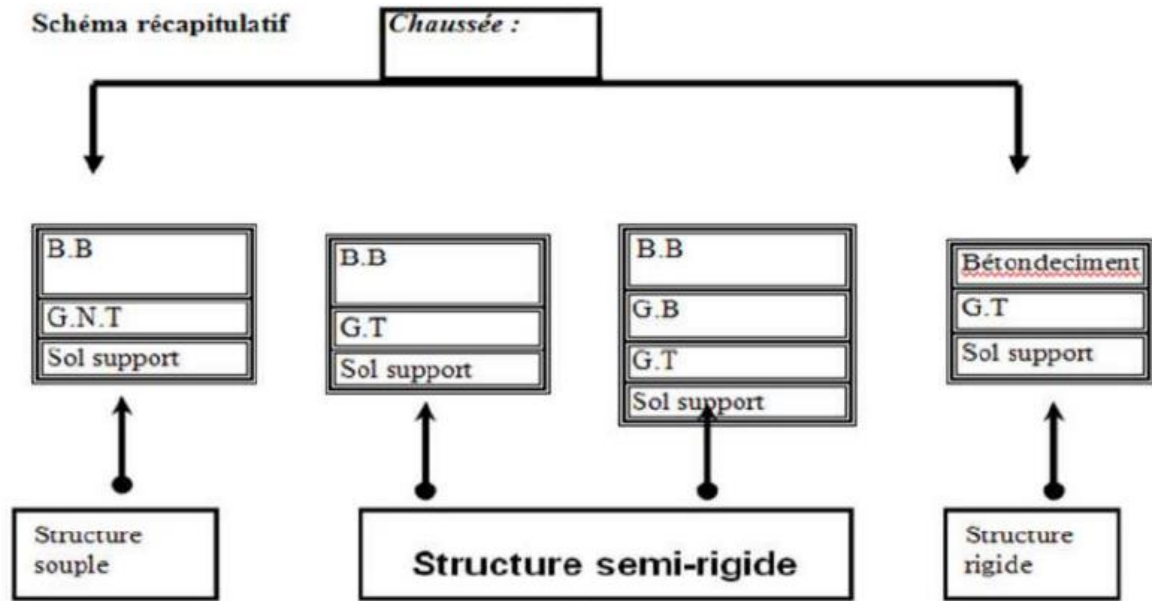


Figure3 : Différents types de chaussée

BB : béton bitumineux.

GB : grave bitume.

GT : grave traité.

GNT : grave non traité.

- Chaussée en béton armé continu (BAC) : Ce type de chaussée est constitué d'une dalle en béton armé continue reposant sur une couche de fondation et une couche de base granulaire. Il est utilisé pour les routes à très fort trafic[5] :



Figure 4 : Chaussée en béton armé continu (BAC)

- Chaussée en béton désactivé : Il s'agit d'une chaussée en béton dans laquelle le matériau de surface est traité pour exposer les granulats et donner une texture antidérapante :



Figure 5 : Chaussée en béton désactivé

- Chaussée en pavés : les chaussées en pavés sont composées de pavés préfabriqués en béton, en pierre ou en terre cuite assemblés pour former une surface solide. Ils sont utilisés principalement dans les zones urbaines et historiques :



Figure 6 : pose du pavé autobloquant

Ces types de chaussées sont spécifiés dans le CTTTP et sont utilisés en fonction des conditions locales, des niveaux de trafic, des contraintes budgétaires et d'autres facteurs pertinents pour chaque projet routier en Algérie

i.5 Les revêtements des chaussées utilisées en Algérie :

En Algérie, les types de chaussées utilisées sont définis par le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CTTP) qui est un document technique régissant les spécifications de construction des infrastructures routières. Voici quelques-uns des types de chaussées mentionnés dans le CTTP :

- Chaussée en béton bitumineux (BBG) : Il s'agit d'une chaussée constituée d'une ou plusieurs couches d'enrobé bitumineux appliquées sur une couche de base et une couche de fondation granulaire[6] :



Figure7 :Chaussée en béton bitumineux (BBG)

- Chaussée en béton de ciment (BCC) : Ce type de chaussée est construit en coulant du béton de ciment sur une couche de fondation et une couche de base granulaire. Il peut être utilisé pour les routes à fort trafic :



Figure8 :Chaussée en béton de ciment (BCC)

- Béton De Ciment (Bcg) (Béton non armé et goujonné) :

Les chaussées modernes en béton peuvent se présenter sous différentes conceptions ; on peut citer les dalles courtes (3 à 5 m) non armées, à joints goujonnés ou non, les dalles moyennes (5 à 7 m) goujon-nées ou non, les dalles épaisses (30 à 40 cm) courtes et non armées, etc. Dans le cadre du catalogue de dimensionnement des chaussées, il s'agit de dalles en béton de ciment (granulats et ciment) courtes ou moyennes non armées et goujonnées

- Enduits superficiels :

L'enduit superficiel est l'une des techniques la plus couramment utilisée en couche de surface Aujourd'hui, elle connaît un léger recul au profit des bétons bitumineux très mince et des enrobés coulés à froid, mais elle reste toujours la technique de référence pour les réseaux à faible et moyen trafic[6]



Figure9: photo d'un enduits superficiel[6]

L'enduit superficiel est composé d'une ou plusieurs couches de liant, chacune étant suivie d'un gravillonnage. Cette technique peut s'employer sur un corps de chaussées, ou sur une couche de surface usée, pour la renouveler. Suivant le nombre de couche de liant et de gravillons, on distingue des enduits monocouches, bicouches ou multicouches :

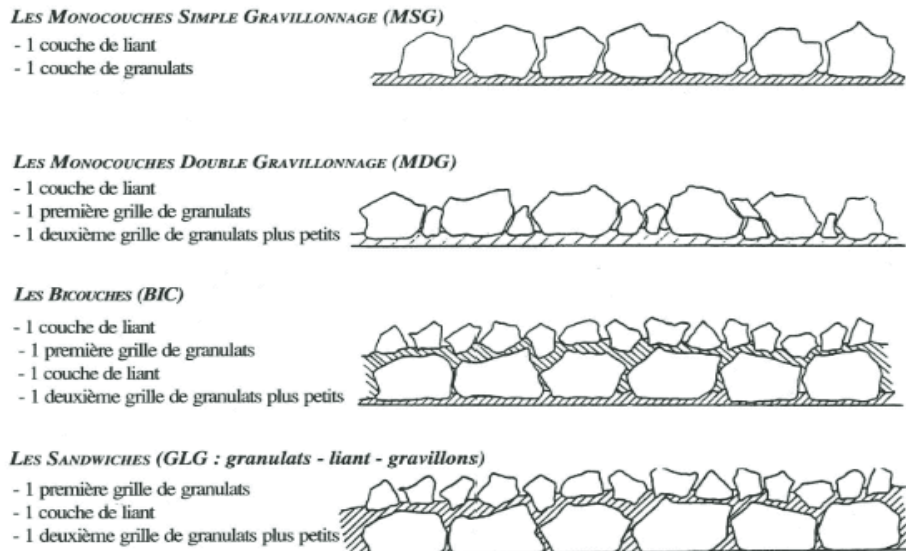


Figure10: photo les différent couche D'enduits superficiel

- Enrobés coulés à froid :

Sont des revêtements utilisés dans la construction et l'entretien des chaussées routières. Contrairement aux enrobés chauds qui nécessitent une chauffe préalable, les enrobés coulés à froid peuvent être mélangés et appliqués à température ambiante. Voici quelques informations importantes sur les enrobés coulés à froid[6] :



Figure11 : photo d'enrobés à froid

i.6 Revêtements de nouvelle génération

Les revêtements de nouvelle génération font référence à des technologies émergentes et innovantes utilisées dans la construction et l'entretien des chaussées routières. Ils

sont conçus pour améliorer les performances des routes en termes de durabilité, de sécurité, d'efficacité énergétique et de réduction des coûts. Ces revêtements intègrent souvent des matériaux avancés, des techniques de construction innovantes ou des fonctionnalités spéciales pour répondre aux besoins changeants de l'industrie routière et des usagers de la route. Ils peuvent inclure des revêtements photo catalytiques, des revêtements à absorption acoustique, des revêtements à faible consommation d'énergie, des revêtements à gestion thermique, des revêtements intelligents, et bien d'autres encore. L'objectif principal des revêtements de nouvelle génération est d'améliorer les performances, la durabilité et la sécurité des infrastructures routières tout en intégrant des considérations environnementales et économiques.[6]

Parmi les divers revêtements de nouvelle génération :

- Revêtement en béton poreux : Le béton poreux est un type de revêtement qui permet à l'eau de s'infiltrer à travers la surface, réduisant ainsi les problèmes d'accumulation d'eau sur la chaussée. Cela améliore la sécurité en réduisant les risques d'aquaplaning [32].



Figure 12 : échantions de béton poreux

- Revêtement en asphalte modifié : L'asphalte modifié est un mélange d'asphalte et de polymères qui améliore la résistance aux fissures et la durabilité de la chaussée [33]. Il est également plus résistant aux variations de température, ce qui réduit les risques de déformation de la chaussée en été ou en hiver.



Figure 13 : exemple Revêtement en asphalte modifié

- Revêtement anti-bruit : Ces revêtements sont conçus pour réduire le niveau sonore généré par le trafic routier. Ils utilisent des matériaux spéciaux ou des textures de surface qui réduisent les vibrations et l'émission de bruit des véhicules en circulation, améliorant ainsi la qualité de vie des riverains[34].



Figure 14 : teste des rues antibruit exactement a ville de paris

i.7 Conclusion

Les conditions climatiques et géographiques en Algérie sont très variées. Il est essentiel donc, de prendre en compte ces facteurs lors de la sélection du type de revêtements, afin de construire et d'entretenir des chaussées sûres, résistantes et durables, qui contribuent à améliorer la sécurité routière et facilitent les déplacements des usagers.



ii. Chapitre 02 : Les Facteurs D'influence De L'adhérence



ii.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous aborderons la notion d'adhérence, qui est la capacité d'un matériau ou d'une surface à se fixer à une autre. L'adhérence joue un rôle crucial dans de nombreux domaines, tels que l'ingénierie, l'industrie et la science des matériaux. Lors de l'établissement des mécanismes d'adhérence, plusieurs paramètres entrent en jeu et doivent être pris en compte. .

ii.2 Définition de L'adhérence :

L'adhérence d'un revêtement correspond à sa capacité à mobiliser des forces de frottement entre le pneumatique d'un véhicule et la surface du revêtement sous l'effet des sollicitations engendrées par la conduite : accélérations, freinages, changements de direction. Elle permet de :

- ❖ Conserver à tout moment la trajectoire désirée notamment en virage,
- ❖ Réduire les distances de freinage,
- ❖ Faciliter les manœuvres d'évitement ou de récupération de trajectoire.

On distingue deux composantes de l'adhérence : l'adhérence longitudinale représentée par le coefficient de frottement longitudinal, et l'adhérence transversale, représentée par le coefficient de frottement transversal[7].

ii.3 Facteurs influençant l'adhérence :

La résistance au dérapage est définie comme la capacité de la surface de la chaussée à empêcher les véhicules de glisser ou de déraper[8]. Ce paramètre fait référence à la relation entre les forces verticales et horizontales créées lorsqu'un pneu glisse sur la surface de la route. L'adhérence/force de frottement est un point essentiel de l'interaction véhicule-chaussée, qui permet à un véhicule d'accélérer, de manœuvrer et de s'arrêter en toute sécurité.[9]

A ce titre, il joue un rôle particulièrement important dans la réduction des accidents survenus sur les routes mouillées ; Les paramètres importants affectant la résistance au dérapage d'une chaussée sont classés en quatre groupes, à savoir :

- Les caractéristiques de la surface de la chaussée,

- Les paramètres opérationnels du véhicule,
- Les caractéristiques des pneus
- les facteurs environnementaux[8].

ii.4 Texture des revêtements de chaussées :

La texture des surfaces de chaussées permet l'évacuation de l'eau sous le pneumatique (c'est le rôle de la macro texture) et de rétablir des conditions de contact aussi proches que possible de celles rencontrées sur chaussées sèches (c'est le rôle de la micro texture)[10]. Les aspérités composant la texture des surfaces de chaussées se classent selon deux échelles, en fonction de leur dimension horizontale et verticale :

- l'échelle de la micro texture,
- l'échelle de la macro texture.

Une évaluation de ces deux échelles de texture permet de caractériser l'adhérence d'une surface de chaussée[7]

ii.5 La macro texture Et la micro texture :

Il est possible d'apprécier la micro texture et la macro texture des revêtements par la réalisation de mesures de coefficient de frottement pneu/revêtement.[6] Selon les appareils, ces mesures peuvent être réalisées à différentes vitesses de glissement, à ne pas confondre systématiquement avec la vitesse d'avancement de ces appareils

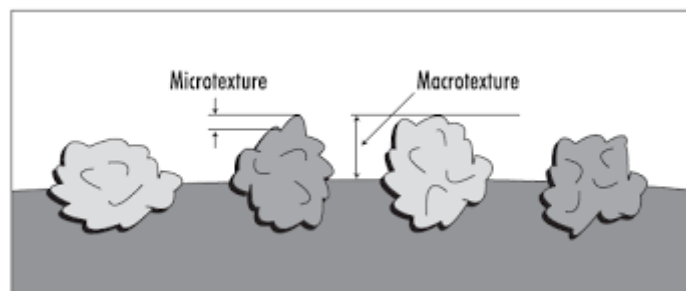


Figure 15 : La macro texture Et la micro texture

La vitesse de glissement est égale à la vitesse d'avancement multipliée par le pourcentage de glissement de l'élément de mesure (patin ou pneu). Une basse vitesse de glissement permet d'obtenir un indicateur représentatif du micro texturé, une

vitesse plus élevée de glissement est plus sensible à la macro texture. Les plages de texture évaluées par les différents appareils sont données par la figure ci-après[9]

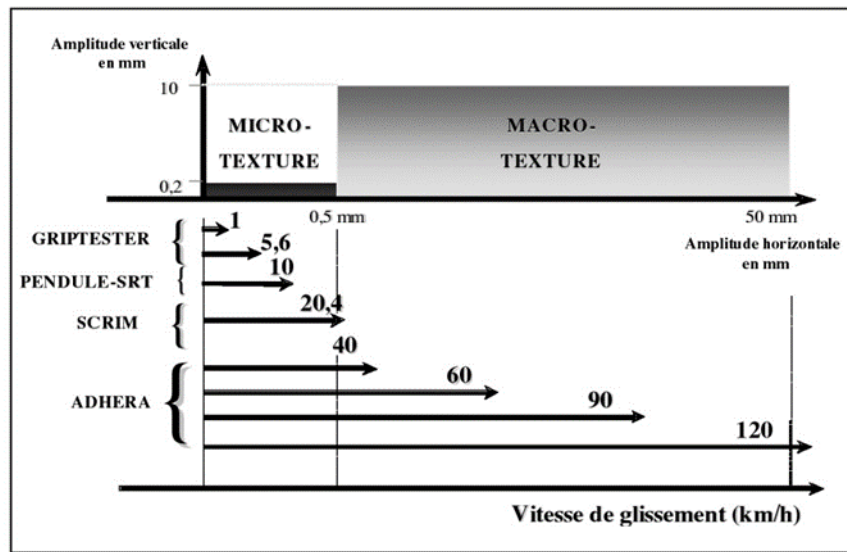


Figure 16 : Plages de texture des différents appareils de mesure

❖ La micro texture :

Certaines techniques de mesure directe de la micro- texture sont développées pour des applications en laboratoire (images à fort grossissement, profils, etc.). Mais ces techniques sont encore trop lentes et complexes pour permettre leur utilisation opérationnelle sur chaussées à des fins de contrôle ou d'auscultation[3].

En pratique, la micro texture peut être appréciée de façon indirecte par des mesures de coefficient de frottement à faible vitesse de glissement

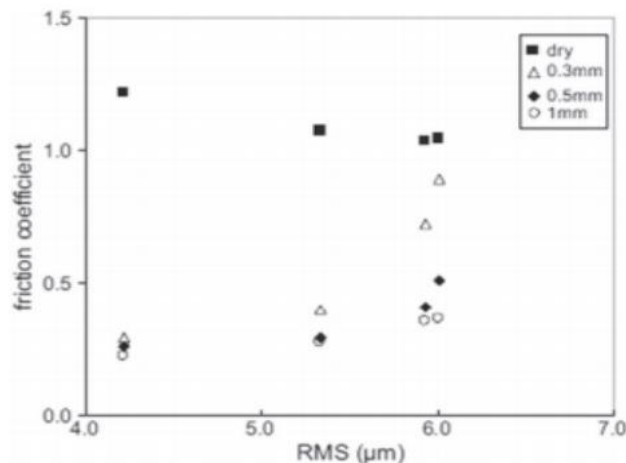


Figure 17: Variation du coefficient du frottement en fonction de la micro texture.

L'évolution des hauteurs d'eau sur les chaussées présente un intérêt pour la compréhension de leur influence sur la contrôlabilité des véhicules ; ont étudié la variation de l'adhérence en fonction de la hauteur d'eau avec trois vitesses données et quatre différents niveaux de micro texture [31].

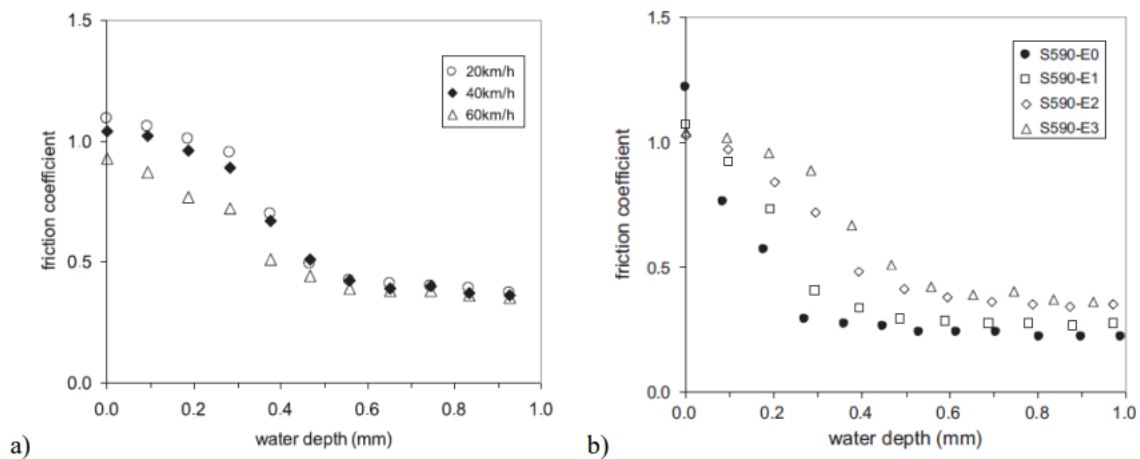


Figure 18: Evolution de l'adhérence en fonction de la hauteur d'eau : a) avec différentes vitesses, b) avec différent micro texture

➤ Les essais basés sur la texture (en laboratoire) :

La mesure des caractéristiques de dérapage de la chaussée est une tâche fastidieuse car les mesures de résistance au dérapage sont affectées par de nombreux paramètres qui ne peuvent pas être facilement contrôlés ni sur le terrain ni en laboratoire.

➤ Test du pendule britannique :

Le testeur de pendule britannique (BPT) est l'un des appareils les plus simples pour mesurer la résistance au dérapage [10]

La méthode de ce test est décrite dans la norme ASTM E303. Le BPT est un dispositif d'essai dynamique qui mesure les propriétés de glissement et de frottement d'une surface de route en réduisant l'énergie cinétique entre la surface et le patin.

Procédure de mesure, également connue sous le nom de British Pendulum Number, fournit une valeur comprise entre 0 et 150, dans laquelle les valeurs les plus élevées sont liées à la plus grande résistance au dérapage.

La vitesse de glissement de ce test est très élevée, de sorte que le BPN dépend de manière significative de la microstructure de surface. Le BPT peut être utilisé pour des tests sur le terrain et en laboratoire.



Figure 19 :Testeur à pendule britannique:

➤ La Micro texture Sur Granulat (Essai De Polissage) :

La méthode de mesure de la micro-texture des agrégats dans la plupart des recherches utilise les méthodes optiques sans contact, par microscope optique 3D et caractérisés par un ensemble d'indicateurs[3].



Figure 20 :(a) Le microscope optique 3D. (b) Acquisition de la surface du granulat[10]

Il existe trois types d'agrégats pour le test de polissage, qui sont tous couramment utilisés dans l'ingénierie des chaussées, y compris le basalte, le calcaire et le grès rouge, où la taille maximale nominale de ces agrégats est de 13,2 mm. Les agrégats sont disposés manuellement, où les agrégats sont placés en une seule couche sur toute la surface de la plaque d'essai et la plaque a été divisée en trois parts égales selon le type de granulat. Le diamètre F de la plaque est d'environ 225 mm [23].

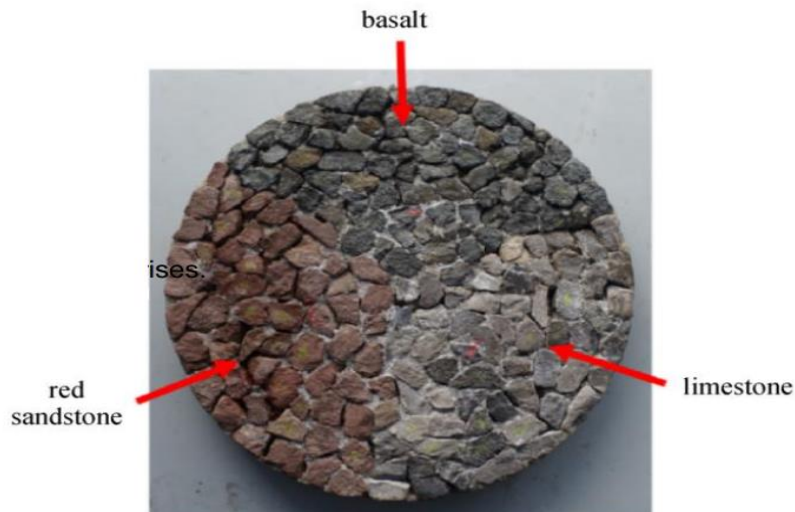


Figure 21 : L'échantillon de polissage des agrégats

Dans ce test l'échantillon est poli à l'aide de trois cônes en caoutchouc avec de la poudre de quartz et de l'eau, l'action de polissage est effectuée à une vitesse de (5005) tr/min et avec une charge de (3923) N. Pendant l'action de polissage, le mélange eau-quartz-poudre est saupoudré par le centre de la tête de polissage sur la surface de l'échantillon qui est constitué d'un mélange de poudre de quartz $<0,063$ mm.



Figure 22 : L'appareil de polissage Wehner/Schulze

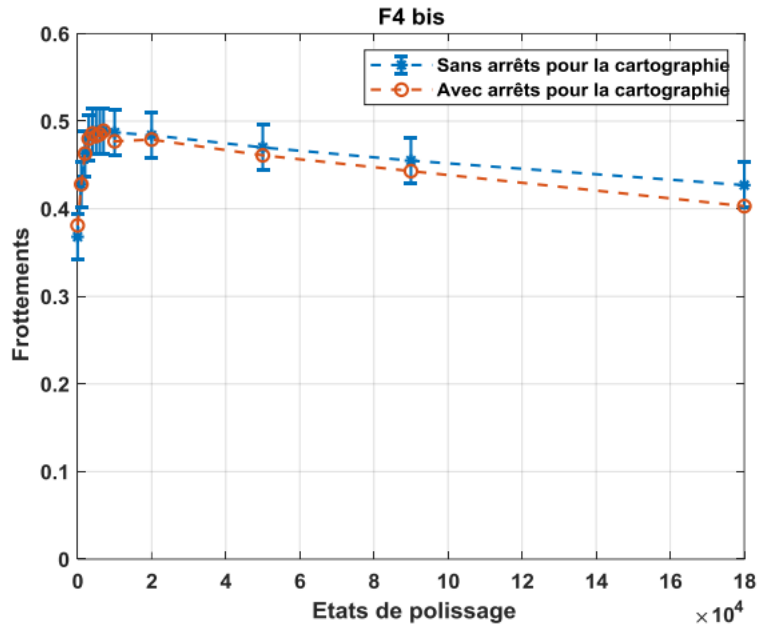


Figure 23:Variation des mesures d'adhérence[31]

❖ La macro texture :

La macro texture correspond à des dénivellations de 0,5 à 50 mm horizontalement et de 0,2 à 10 mm verticalement. [6] Cette macro texture est liée à la formulation et aux conditions de mise en œuvre du revêtement de chaussée. Elle est influencée par la forme, l'angularité et la dimension des granulats constituant l'enrobé. Une forte macro texture a un effet bénéfique sur l'évacuation superficielle des eaux de ruissellement et sur la réduction des projections d'eaux ainsi que sur les propriétés optiques d'un revêtement humide mais elle peut conduire à augmenter le bruit de contact pneumatique-chaussée et la résistance au roulement.

Une faible macro texture est susceptible d'entraîner, par temps de forte pluie et à Vitesse élevée, une perte d'adhérence qui résulte de la persistance d'une lame d'eau entre le pneumatique et le revêtement engendrant ainsi le phénomène d'aquaplanage, lequel se traduit par une perte de maîtrise de la conduite. La recherche de l'obtention et de la durabilité de la macro texture doit être l'une des idées directrices de la formulation[6].

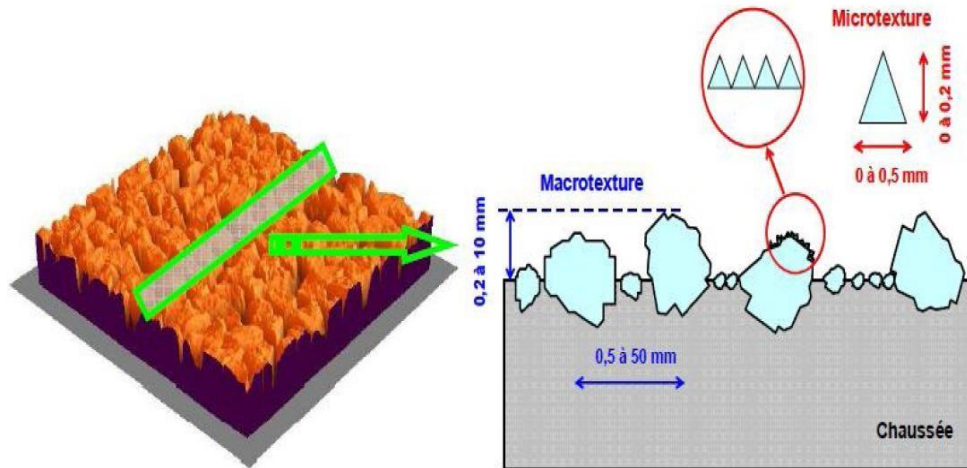


Figure 24 : macro texture des revêtements de chaussée, tailles caractéristiques

➤ Essai PSV (Polished Stone Value) :

La valeur PSV (Polished Stone Value) est une mesure de la résistance des gravillons à l'action de polissage exercée par les pneus automobiles dans des conditions similaires à celles qui règnent à la surface d'une route[11].

Les essais sont réalisés sur des granulats passant au travers d'un tamis de 10 mm et retenus sur un tamis à barres de 7,2 mm, selon le mode opératoire suivant :

- Préparation des éprouvettes : Pour chaque granulat, 4 éprouvettes 12,5 x 90,6 x 44,5 sont réalisées. Les granulats sont lavés et séchés, les pierres oblongues isolées sont retirées. 4 éprouvettes de référence sont également préparées, avec une pierre de référence PSV 56



Figure 25 : Préparation des éprouvettes

- Polissage accéléré : L'essai de polissage accéléré est réalisé en deux cycles : pour chaque échantillon, 2 éprouvettes sont polies au cours du 1er cycle, puis deux autres lors du 2ème cycle. Pour chaque cycle, 14 éprouvettes sont

- Placées sur une roue : 12 éprouvettes correspondant à 6 échantillons différents et 2 éprouvettes de référence. La roue tourne à une vitesse de 320 ± 5 tr/min pendant 180 min avec un émeri grossier (abrasif) puis de nouveau 180min avec un émeri fin.

Après nettoyage des éprouvettes, celles-ci sont placées dans l'eau à 20°C pendant 30 à 120min. L'essai de frottement est ensuite réalisé 5 fois sur chaque éprouvette. Nous enregistrons les 5 valeurs et retenons la moyenne des 3 dernières mesures (les 5 valeurs ainsi que la moyenne sont rapportées).

- Calcul des résultats : La valeur PSV est calculée selon la formule suivante :

$$PSV = S + (52,5) - C$$

Où

(S) est la valeur moyenne des quatre éprouvettes de granulats

(C) est la valeur moyenne des quatre éprouvettes de pierre de référence du PSV

Elle détermine la capacité de la route à fournir une adhérence suffisante entre les pneus des véhicules et la chaussée. La texture et la composition du revêtement jouent un rôle majeur dans cette résistance au glissement, en privilégiant l'alignement du pneumatique et de la chaussée. Un entretien régulier est essentiel pour maintenir cette résistance au glissement et garantir des conditions de conduite plus sûres.

➤ Patch de sable :

L'une des méthodes les plus courantes d'évaluation de la macro-texture d'une surface de chaussée est la méthode du chemin de sable décrite en détail dans la norme ASTM E965.[10] particulièrement sur une surface de chaussée nettoyée et séchée avec le sable distribué ayant le même niveau que le point le plus élevé d'agrégat, et le diamètre du cercle créé doit ensuite être mesuré. La profondeur de texture moyenne (MTD) de la macro texture de la chaussée peut être déterminée par l'équation suivante :

$$MDT = \frac{\pi * 4V}{D^2}$$

Où :

- **MTD** est la profondeur moyenne de la texture macro de la chaussée (mm),
- **V** est le volume de sable (mm³)
- **D** est le diamètre moyen du cercle (mm).



Figure 26 : Tests de patch de sable en laboratoire[10]

➤ **Méthode volumétrique (Essai à la tâche) :**

Cette méthode donne une profondeur moyenne des aspérités de surface (norme NF EN 13036-1 [17]). Elle est réalisée de manière ponctuelle et rapide. La gamme des résultats ponctuels observés est de 0,3 à 3 mm, selon les techniques routières et l'état de la couche de roulement. Les mesures de profondeur moyenne de texture (PMT) sont testées nécessairement avec une surface de chaussée sèche et propre.

Dans le cas d'un revêtement drainant, la hauteur au sable ne traduit pas correctement la macro texture superficielle, car les grains s'écoulent dans la porosité ouverte du matériau. La PMT nécessite un grand nombre de mesures pour donner une appréciation significative de la macro texture d'un revêtement.

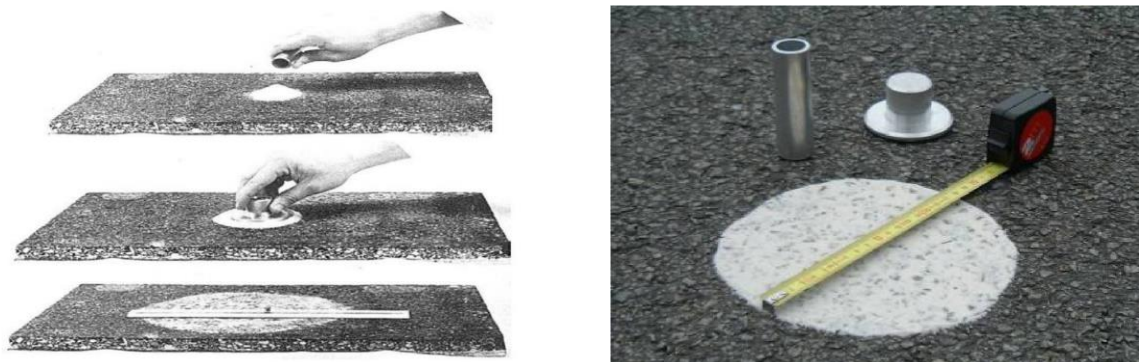


Figure 27: Mesure de la macro texture PMT

Le principe de la méthode consiste à :

- Verser 25 cm³ (V) de billes de verre calibrées
- Etaler les billes à l'aide du disque spécial en une plage circulaire
- Mesurer au moins 4 diamètres (D),
- Calculer $PMT = V/(D^2/4)$ mm

➤ **Méthode profil métrique (Rugolaser) :**

Il s'agit d'une méthode dynamique (mesure effectuée pour une vitesse de 30 à 100km/h). Sur route, le Rigolasse permet d'obtenir la Profondeur Moyenne du Profil (PMP) selon la norme NF EN ISO 13473-1 [18]. L'appareil mesure l'inventeur géométrique qui correspond à la moyenne arithmétique « Ra » ou la moyenne quadratique « RRQ ». L'appareil se compose, en particulier, d'un émetteur à rayon laser et d'un potentiomètre optique. Le rayon émis touche la surface du sol et se réfléchit sur le potentiomètre optique (cf. Figure ci-dessous). En fonction de la position du point illuminé sur ce potentiomètre, on en déduit la hauteur du point de réflexion au sol.

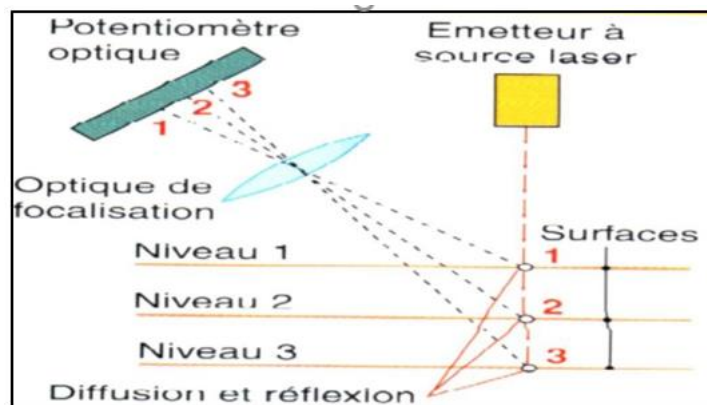


Figure 28 : principe de rugolaser

En général, les mesures sur couches de roulement drainantes ne sont pas utiles. Les résultats de mesures sont exprimés en valeurs de HSc (Hauteur au Sable calculée, en mm), au pas de 10 à 20 m, en fonction des abscisses de la roue. L'appareil calcule la valeur « Ra » moyenne, la valeur « Rq » moyenne, et une valeur « HSc » déduite de « Ra » par une loi empirique de la forme : $HSc = (a \times Ra) + b$

(HSc) est la Hauteur au Sable calculée, en mm

(Ra) est la moyenne arithmétique des aspérités, en

mm a,

(b) sont des coefficients à déterminer.



Figure 29 : Méthode profil métrique (Rugolaser)

ii.6 Les caractéristiques de la surface de la chaussée :

La couche de roulement joue un rôle important dans la visibilité de la route. Elle occupe une grande part du champ visuel du conducteur et constitue le principal fond sur lequel se détache un éventuel obstacle, aussi La qualité des routes est l'un des facteurs les plus importants concernant la sécurité des transports. Une résistance au dérapage adéquate d'une surface de route permet aux conducteurs de garder un contrôle efficace sur leur véhicule et de manœuvrer si nécessaire pour éviter les accidents. [19]

➤ Choix de la couche de roulement :

Le choix de la couche de roulement est fait en fonction du niveau de réseau principale comme suit [26] :

- **RP1** : couche de roulement en béton bitumineux (BB), les épaisseurs sont modulées en fonction de la classe de trafic (TPLi) et du type de structure de l'assise de chaussée.
 - 6 à 8 cm de BB pour les structures traitées au bitume (GB/GB, GB/GNT...)
 - 6 à 10 cm de BB pour la structure GL/GL (GL : Grave laitier)
- **RP2** : couche de roulement en enduit superficiel (ES) ou enrobé coulé à froid (ECF) en fonction du matériau choisi en assise de chaussée et de la zone climatique correspondante.

Le tableau suivant fourni des éléments indicatifs pour le choix de la couche de roulement d'un revêtement routier :

Critères de comparaison	ESU	ECF	BBUM	BBTM	BBM	BBD	BBSG	BBME	Béton de ciment
Adhérence initiale	++	0 à +	+	+	+	+	0	0	+
Adhérence après 5 ans	0 à +	0 à -	+	+	0	+	0 à -	0	0 à +
Dérivabilité	+	-	0 à -	0	++	0	-	-	0 à +
Uni	-	--	-	0	+	+	+	+	+
Acoustique	- à --	0	0 à +	+	0 à +	++	0 à +	0 à +	- à 0
Photométrie	++	/	/	/	/	++	-	-	+
Orniérage	/	/	+	+	0	++	0	++	++
++ Très bon + bon 0 moyen - médiocre - - mauvais									

Tableau 1 : Eléments indicatifs pour le choix du revêtement routier[6]

➤ La couche de roulement et ses fonctions :

La couche de roulement est la couche supérieure de la chaussée. Ses fonctions sont les suivantes :

- assurer un bon niveau de sécurité pour l'utilisateur : elle doit posséder de bonnes propriétés antidérapantes fournies par la macro texture et la micro texture du revêtement.
- assurer le confort des usagers.
- protéger les couches inférieures des agressions du trafic routier et des conditions climatiques et environnementales (hydrocarbures, eau, air, lumière, température, ...).
- sur le plan phonique, absorber une partie des bruits extérieurs au véhicule, en particulier les bruits de frottement des pneumatiques avec la chaussée [28].

ii.7 Présence de polluants sur la chaussée :

Lorsque certains produits comme de l'huile, de la glaise, du sable ou des feuilles mortes sont déposés sur la chaussée, l'adhérence diminue. Aux sorties de carrières, l'adhérence est plus faible, en raison des fines de concassage perdues par les camions, qui se déposent sur la chaussée et qui jouent un rôle d'abrasifs. L'adhérence pneumatique/chaussée, déjà dégradée par la présence d'eau, l'est encore bien davantage en période hivernale par l'existence de neige ou de glace à la surface des chaussées. La neige tassée, le verglas ou la glace produisent une adhérence très basse.[12]

La résistance à l'action des produits chimiques : le carburant qui fuit peut dissoudre le liant du mélange bitumineux et certains produits peuvent attaquer les granulats (par exemple de l'acide sur du calcaire ou un matériau contenant du calcaire). Plus le produit chimique peut s'introduire aisément dans le revêtement, plus les dégradations seront importantes. Tout cela dépend de la rugosité, des vides, de la pente, etc.)[6]

Les propriétés de l'adhérence des chaussées peuvent être influencées par différents facteurs, tels que la texture de surface, la rugosité, l'état de la chaussée, la composition du revêtement, la pression des pneus, les caractéristiques des pneus, les conditions météorologiques, etc.

ii.8 Les paramètres opérationnels du véhicule :

- La force centrifuge :

Tout véhicule lancé dans un virage est soumis à une force centrifuge « FC » qui tend à le chasser hors de sa courbe. Pour maintenir le véhicule sur sa trajectoire, l'interface pneu/sol doit fournir une force centripète « Y », de valeur égale à la force centrifuge. [7]

Où :

M : Masse du véhicule
 V : Vitesse du véhicule
 R : Rayon de la courbe

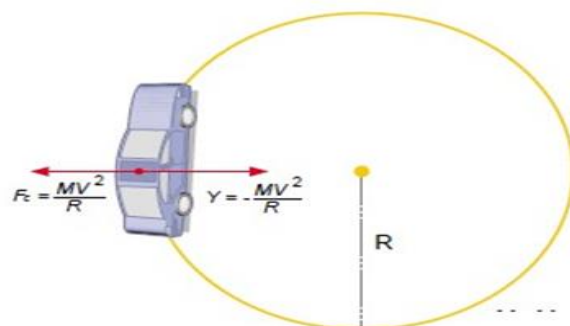


Figure 30 : Illustration de la force centripète

L'adhérence des chaussées dépend non seulement des caractéristiques du revêtement de la chaussée mais également des facteurs liés au véhicule (suspension, vitesse, etc.), aux pneumatiques (pression de gonflage, profondeur de sculptures, etc.), aux conditions climatiques (température, gel etc.) et à l'état de la surface de la chaussée (déformations, épaisseur d'eau, pollution, etc.). Les facteurs liés aux surfaces de chaussée, et en particulier ceux relatifs à la texture, sont ceux sur lesquels les ingénieurs routiers peuvent agir[7].

- **La dérive :**

En virage, le conducteur impose, par l'intermédiaire de la direction, un angle de braquage aux deux roues avant du véhicule[7]. En fait, il dirige les roues non pas sur la trajectoire, mais vers l'intérieur du virage, introduisant un décalage entre le plan de rotation des roues et la trajectoire du centre de la roue. Ce décalage, appelé dérive « δ » induit un frottement entre les pneumatiques et la chaussée, qui génère une force transversale centripète « Y ».

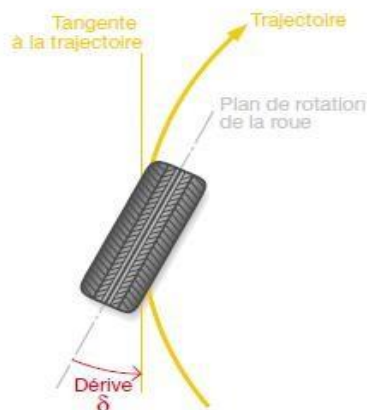


Figure 31: Mise en dérive d'une roue

En général, le frottement transversal augmente avec la dérive jusqu'à une valeur maximale, que l'on atteint à environ entre 4° et 7° de dérive pour une voiture, et entre 6° et 10° pour un poids lourd en fonction de l'architecture du pneumatique, de la nature de la gomme et du sol, et de la pression de gonflage

ii.9 Influence du pneumatique :

L'adhérence est assurée par le pneumatique, organe ultime de contact entre le véhicule et la route. La gomme du pneu qui, par ses extraordinaires propriétés viscoélastiques, est à l'origine des mécanismes d'adhérence : il se produit dans l'aire de contact un fourmillement de phénomènes qui vont tous concourir à lutter contre un glissement intempestif du véhicule. [20]

Un pneu à carcasse radiale offre une adhérence longitudinale légèrement supérieure à celle d'un pneu à carcasse diagonale (de l'ordre de 15 à 20%). Le pneu lutte contre l'hydroplanage en drainant l'eau qui passe sous l'aire de contact. Si le débit de drainage est plus important que le débit d'eaux passant dans l'aire de contact, le pneu ne décolle pas du sol.[21] A hauteur d'eau égale, le débit d'eau défilant sous un pneu est d'autant moins grand que le pneu est étroit. En première approche, une aire de contact étroite permet donc de réduire le volume d'eau à drainer dans les sculptures du pneu. Inversement, les pneus larges, confrontés à un débit d'eau très supérieur, doivent disposer d'un système de drainage beaucoup plus élaboré.[13]

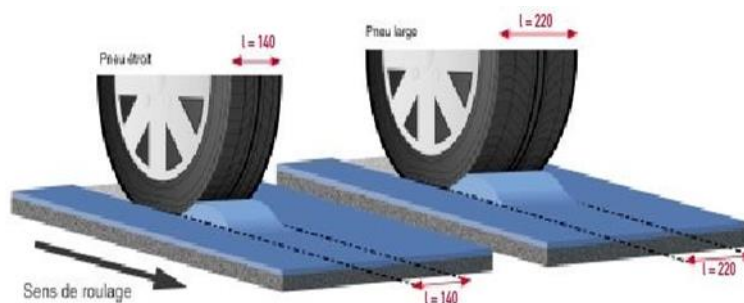


Figure 32 : largeur de l'aire de contact sur le débit d'eau à évacuer

Les lamelles participent au drainage de l'eau vers les creux de sculpture et créent des surpressions locales au niveau de leurs arêtes. Là encore, ce réseau doit être conçu pour concilier drainage et rigidité de la bande de roulement[6]

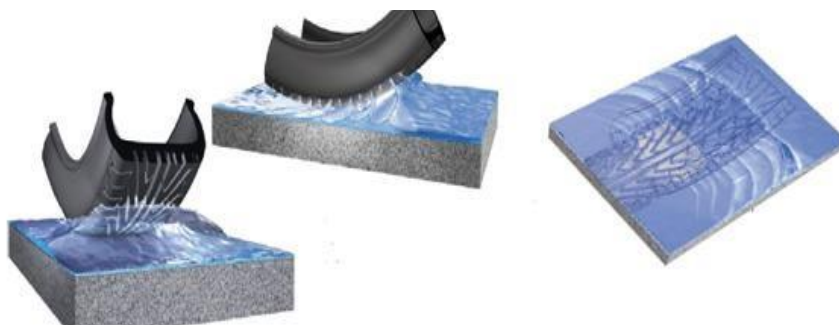


Figure 33 : Sculptures orientées pour drainer l'eau vers les côtés[21]

Lorsque l'une des surfaces de contact est mouillée, les liaisons moléculaires deviennent négligeables. On admet donc généralement que le frottement pneu/chaussée en présence d'eau provient uniquement de la déformation de la gomme par des aspérités de chaussée. Ce mécanisme d'indentation est également perturbé dès que la hauteur d'eau est suffisante pour couvrir les rugosités de la chaussée.

- **Le type de pneumatique :**

Ce facteur est très influent car Les constituants de la Pneumatique ont une influence sur les pertes d'énergie par hystérésis dans le processus de friction et, en conséquence, sur la valeur du coefficient de frottement.[14]Les pneus assurent la sécurité. Il est donc important qu'elles soient adaptées aux conditions climatiques et idéales pour le véhicule.

En outre, la pression de l'air et la profondeur de la bande de roulement devraient être correcte. Il existe différents types de pneu [20]:

Pneus larges, Pneus XL, Pneus à profil bas, Pneus usés, Pneus rechapés, Pneus d'été, Pneus d'hiver, Pneus toutes saisons :



Figure 34 : quelque Types des pneus

- **Composition et fabrication du pneu :**

Coté composition du pneu, un grand nombre de matières intervient dans sa fabrication. Or, ces composantes changent en fonction du type du pneu à fabriquer. [21] On en

cite : Caoutchouc naturel ou synthétique, adjuvants chimiques, câbles textiles et métalliques avec cinq parties principales. Il est gonflé avec un gaz sous pression. Son élasticité lui permet de se former et se déformer en fonction des mouvements et efforts produits par le véhicule lors de son contact avec le sol.

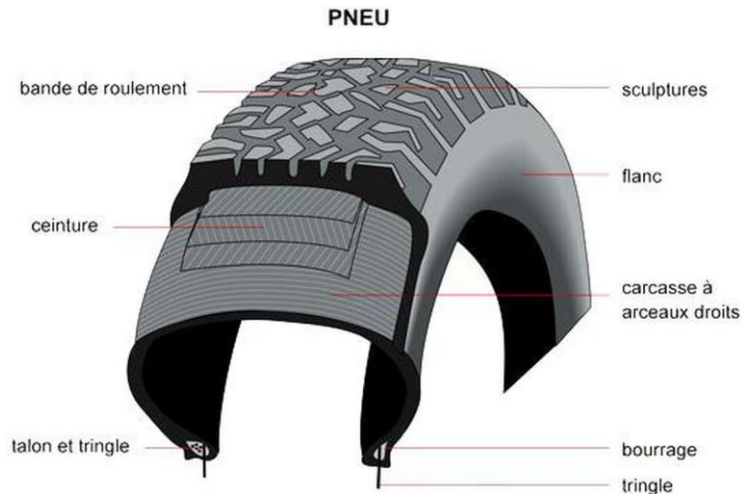


Figure 35 : composition du pneu

ii.10 Conditions climatiques :

- **La température :**

Affecte les caractéristiques mécaniques des matériaux bitumineux (module élastique et tenue en fatigue). Les températures élevées sont souvent source de dégradations pour un revêtement bitumineux. Il est en effet bien connu que l'augmentation de température favorise l'orniérage et le poinçonnement. Une augmentation de température a le même effet qu'une diminution de la vitesse de sollicitation de l'enrobé. Les effets sur le comportement du revêtement sont d'autant plus sévères que ces deux actions (température et vitesse) se combinent. La température génère aussi des cycles d'ouverture/fermeture des fissures de retrait des matériaux traités aux liants hydrauliques.[6]

Notamment la température, ont un impact significatif sur le comportement des revêtements bitumineux. Des températures élevées peuvent causer des dommages, tandis que les variations de température peuvent entraîner l'ouverture et la fermeture des fissures dans les matériaux traités aux liants hydrauliques. Il est donc essentiel de prendre en compte ces facteurs lors de la conception et de l'entretien des revêtements

bitumineux pour assurer une adhérence optimale et une durabilité à long terme. L'influence de température et la vitesse élevées [21].

La température et la vitesse des véhicules ont une influence significative sur la chaussée routière. Les températures élevées peuvent ramollir le matériau de la chaussée, entraînant des déformations et une perte de résistance, tandis que les températures froides peuvent provoquer une contraction et des fissures. Les véhicules circulant à grande vitesse exercent des charges importantes sur la chaussée, augmentant l'usure et les risques de détérioration. [15]

De plus, la vitesse amplifie les effets des variations de température, entraînant des problèmes tels que des fissures et des nids-de-poule. Il est donc crucial de prendre en compte à la fois la température et la vitesse des véhicules dans la conception, la construction et l'entretien des chaussées pour assurer leur résistance, leur durabilité et la sécurité des usagers de la route.

- **Humidité :**

Lorsque la chaussée est humide, l'eau peut créer une fine couche entre les pneus du véhicule et la surface de la route. Cela peut réduire l'adhérence entre les pneus et la chaussée, ce qui augmente la distance de freinage et peut rendre les virages plus glissants. Il est donc important de réduire la vitesse et d'adopter une conduite plus prudente sur une chaussée humide pour éviter les dérapages.

- ✓ Les différents types de déformations :

Affaissement transversal et longitudinal :



Figure 36 : Schématisation d'un affaissement transversal et longitudinal[15]

- Fissure longitudinale :



Figure 37 : fissuration longitudinal

ii.11 Evolution de l'adhérence au cours du temps :

L'évolution de l'adhérence d'un revêtement de chaussée bitumineuse est due à au moins à quatre mécanismes à savoir[6]

- l'usure mécanique due au frottement entre le pneumatique et le revêtement, le polissage est une conséquence de cette usure,
- le décapage du bitume sous l'action de l'usure mécanique mais également du climat [12]
- les variations saisonnières, qui peuvent être constatées à partir d'une série de mesures de frottement réalisées sur un même revêtement à différentes époques. On constate que l'adhérence atteint généralement sa valeur la plus faible à la fin de l'été et la plus élevée pendant l'hiver
- le vieillissement du matériau dû aux conditions climatiques (variations de température, action de l'oxygène de l'air, pluies acides, etc.), qui peut parfois améliorer l'adhérence au jeune âge.

A ces mécanismes on peut ajouter aussi le phénomène d'enfoncement des gravillons, ou inversement de ressuage du liant modifiant la macro texture de la surface.

Connaître à l'avance cette évolution est primordial pour :

- un gestionnaire d'infrastructure routière afin de planifier l'entretien de son réseau,

- une entreprise routière afin de garantir les performances de son produit. [21] .

ii.12 Conclusion :

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'adhérence des chaussées. La première composante est l'état de la surface de la route elle-même. Des chaussées lisses ou mouillées, notamment en raison de la pluie, de la neige ou de la glace, réduisent considérablement l'adhérence des pneus. De plus, la présence d'huile, de débris ou d'autres substances sur la chaussée peut également diminuer l'adhérence.

Le type de revêtement routier est un autre facteur à prendre en compte. Les chaussées en béton peuvent offrir une meilleure adhérence que les chaussées en asphalte par temps sec, mais elles peuvent devenir particulièrement glissantes lorsque mouillées. Les caractéristiques des matériaux utilisés et la texture de la surface de la chaussée jouent également un rôle dans l'adhérence.



iii. Chapitre 03 : Mesure de l'adhérence des chaussées



iii.1 Introduction :

L'adhérence des revêtements de chaussées est un élément clé pour assurer la sécurité des routes et des usagers de la route. La mesure de l'adhérence est une étape essentielle dans la construction, l'entretien et l'évaluation des chaussées. Elle permet de déterminer la capacité d'un revêtement à fournir une traction adéquate entre les pneus des véhicules et la surface de la route, notamment dans des conditions climatiques variables. Une bonne adhérence est cruciale pour prévenir les dérapages, les glissades et les accidents liés à une perte de contrôle du véhicule. Dans ce chapitre, nous explorerons les méthodes de mesure de l'adhérence, et son importance pour garantir la sûreté des routes. En comprenant les principes de la mesure de l'adhérence, nous serons mieux préparés à concevoir, construire et entretenir des routes sûres et fiables pour tous les usagers.

iii.2 Principes généraux de l'évaluation de l'adhérence des chaussées :

L'adhérence d'une chaussée est appréciée par une évaluation de la micro texture et de la macro texture :

- ❖ Soit par des mesures conventionnelles de frottement entre un pneumatique d'essai et la chaussée réalisées à différentes vitesses,
- ❖ Soit par des mesures de la micro texture et de la macro texture du revêtement de chaussée,
- ❖ Soit par une combinaison de mesures de frottement et de texture.

Il existe de nombreuses façons de mesurer un coefficient de frottement entre un pneumatique et la chaussée.

iii.3 Mesure du coefficient de frottement longitudinal (CFL) :

Considérons un véhicule qui roule en ligne droite à une certaine vitesse. Pour freiner, le conducteur impose, par l'intermédiaire du circuit de freinage, un couple de freinage aux quatre roues du véhicule. A ce moment-là, la vitesse angulaire des roues diminue et la vitesse de roulement du pneu devient inférieure à la vitesse de défilement du sol : pour compenser cette différence, les pneus commencent à glisser selon un taux de glissement « G ». Par les mécanismes d'adhésion et d'indentation, le glissement induit une force de frottement, qui s'oppose au glissement : le véhicule ralentit. On définit le

taux de glissement « G » comme le rapport entre la vitesse de glissement pneu/sol et la vitesse du véhicule[8] :

$$G = \frac{\omega \cdot R - V}{V}$$

- ω : la vitesse angulaire des roues.
- R : le rayon de roulement.
- V : la vitesse du véhicule.

A partir de cette expression nous pouvons avoir les valeurs suivantes :

- $G < 0$: glissement freineur,
 - $G > 0$: glissement moteur,
 - $G = 0$: roue libre,
 - $G = -1$ ou -100% : roue bloquée,
 - $G = +\infty$: patinage sur place.
- Normes Européennes : c'est le CFL selon la norme B40 (Normes Européennes)

V(km /h)		40	60	80	100	120	140
suisse		0,35	0,34	0,32	0,30	0,30	0,30
Allemagne		0,45	0,39	0,34	0,30	0,27	0,26
France	AD	0,46	0,46	0,42	0,38	0,34	0,30
	courbe	0,37	0,37	0,34	0,30	-	-

Tableau 2:coefficient de frottement longitudinal dans la réglementation B40[16]

- Normes algérienne :

V(Km/h)	40	60	80	100	120
Catégories 1-2	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33
Catégories 3-4-5	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36

Tableau 3 : coefficient de frottement longitudinal normes algérienne dans la réglementation B40[16]

iii.3.1 Appareils de mesure :

➤ Le Pendule SRT :

C'est un appareil de type statique, d'origine anglaise (Skid Resistance Tester), qui existe depuis plus de trente ans et équipe pratiquement tous les pays. Il porte, à l'extrémité de son bras, un patin de caoutchouc (76,2 × 25,4 mm) frottant pendant l'essai sur la surface à mesurer. Après une rotation d'un quart de tour à partir de la position horizontale, le patin entre en contact avec la surface de la chaussée à tester avec une vitesse de glissement de l'ordre de 15 km/h. Au cours de cette phase de glissement, des forces de frottement se développent entre le patin et la surface de chaussée, un ressort appliqué sur le patin frottant sur cette surface, une force verticale déterminée (le plus souvent 22,2 N). Un dispositif de réglage permet de maintenir la longueur de glissement dans des limites déterminées. La hauteur maximale de remontée du pendule, qui dépend de l'énergie absorbée par le frottement, est repérée par une aiguille placée devant un cadran gradué directement en valeurs de « coefficient de frottement mesuré avec le pendule ». Plus l'adhérence rencontrée par le patin est élevée et moins le bras du pendule remonte après frottement.[12]

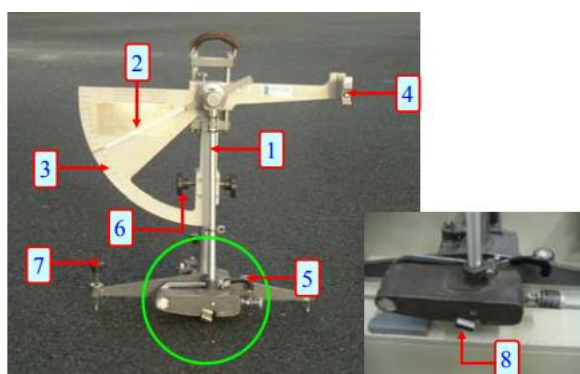
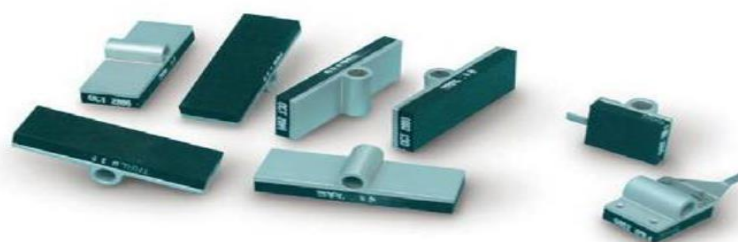


Figure 38 : pendule SRT

1. Pendule
2. Aiguille
3. Cadran gradué
4. Point d'accrochage du pendule à l'horizontal et bouton de déclenchement
5. Niveau à bulle
6. Vis de réglage
7. Vis de mise à niveau
8. Patin en caoutchouc

➤ Type des patins :

Deux différents types de patins caoutchouc peuvent être utilisés en fonction du type d'essai. Les patins nommés selon la dureté du caoutchouc patin 57 ou Patin 96.



- **Curseurs TRRL 3" - A110-03** : Ces curseurs sont utilisés sur des surfaces de route, les surfaces les plus rugueuses les sols normaux.
- **Curseurs TRRL 1 ¼" - A110-01** : Ces curseurs sont utilisés pour l'essai PSV et les essais de laboratoire.[17]

Les curseurs peuvent être stockés jusqu'à deux ans s'ils sont conservés dans un environnement sombre et frais et constant, de préférence en dessous de 15 ° C.

➤ Mesures sur site :

La surface d'essai doit être brossée pour être débarrassée de toutes les particules désolidarisées et elle doit être rincée à l'eau, sauf si l'essai vise également à évaluer la pollution de la surface. Placer le pendule sur une surface résistante, le pendule oscillant dans la direction de la circulation. La pente de la surface doit être inférieure

à 10 %. Si ce n'est pas possible, l'essai peut être effectué dans n'importe quel angle par rapport à la direction de la circulation permettant de satisfaire au critère relatif à la pente. Sur des surfaces présentant un motif régulier, telles que le béton de ciment strié ou brossé, les revêtements bitumineux rainurés ou les pavés, il convient d'effectuer les essais en faisant osciller le Pendule dans un plan formant un sangle d'environ 80 degrés avec les stries, rainures ou joints des pavés.

Au moins trois emplacements d'essai doivent être sélectionnés. Il est recommandé de les séparer les uns des autres par plus de 400 mm afin d'obtenir une valeur moyenne représentative pour un emplacement. Le nombre d'essais nécessaires pour obtenir la valeur d'essai au pendule d'une zone dépendra de l'hétérogénéité de la surface[18].

➤ **Éléments supplémentaires nécessaires pour l'essai :**

- Eau propre en quantité suffisante dans un récipient pour l'humidification de la surface et du patin pour tous les essais à réaliser. Un distributeur séparé peut également être exigé.
- Thermomètre à radiation (pyromètre) ou thermomètre électronique muni d'une sonde de surface. Précis à $\pm 0,5$ °C.
- Niveau à bulle d'au moins 1 m de longueur et mètre ruban en acier gradué tous les 1 mm, ou tout autre dispositif permettant de mesurer la pente.
- Brosse dure non métallique, pour nettoyer la surface manuellement (si nécessaire).
- Anémomètre portable. Ayant une précision de 2 m/s. pour une utilisation sur le terrain (facultatif).[18]

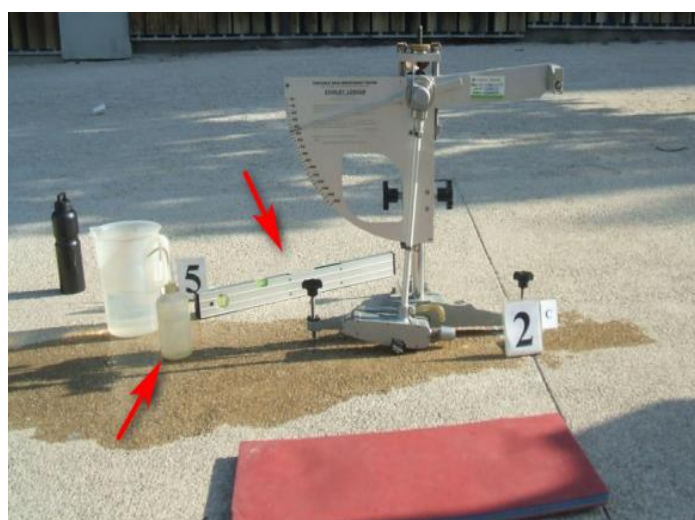


Figure 39:quelque éléments supplémentaires pour l'essai

➤ L'Adhéra :

C'est un appareil français de mesure in situ, développé depuis 1968. L'essai se fait avec roue bloquée (taux de glissement de 100 %). L'équipement se compose d'une remorque mono roue et d'un véhicule tracteur aménagé pouvant atteindre une vitesse de 120 km/h. La roue de la remorque équipée d'un pneumatique lisse aux caractéristiques de gomme fixées (pneu AIPCR lisse 165R15 [20]) est chargée à 250daN. Elle est tractée à vitesse constante par le véhicule assurant le mouillage du revêtement avec une hauteur d'eau estimée à 1 mm Le résultat élémentaire d'un essai est représentatif du niveau moyen d'adhérence d'une bande de surface de chaussée de largeur égale à celle de l'empreinte du pneumatique sur la chaussée et de longueur égale à 20 m, quelle que soit la vitesse d'essai. On mesure le couple moyen des forces tendant à la ré-entraîner. La vitesse de mesure peut varier de 40km/h à 120km/h. Normalement, ces mesures sont réalisées pour trois vitesses d'essais (sur route à 40, 60 et 90 km/h ; sur autoroute a 60, 90 et 120 km/h).[6]

iii.4 Mesure frottement transversal CFT :

On donne au plan de rotation d'une roue tractée à une vitesse de translation constante un angle d'envisage avec la direction du déplacement. On mesure la réaction transversale « N », engendrée par l'adhérence pneumatique-chaussée, qui tend à ramener la roue dans la direction du déplacement. Le coefficient de frottement transversal (CFT) est égal au rapport entre cette réaction transversale « N » et la réaction « R » normale au sol due à la charge sur la roue (CFT = N/R). Le CFT est maximal pour un taux de glissement proche de 0% et très faible pour un taux de glissement de 100%. Comme le coefficient de frottement longitudinal, le CFT est sans dimension. Pour un revêtement donné, ce coefficient dépend du type de pneu (lisse ou sculpté), de la vitesse angulaire de la roue, de la hauteur d'eau sur le revêtement, de l'angle dévirage et du poids appliqué sur la roue. [7]

$$\mathbf{CFT} = \frac{\mathbf{N}}{\mathbf{R}}$$

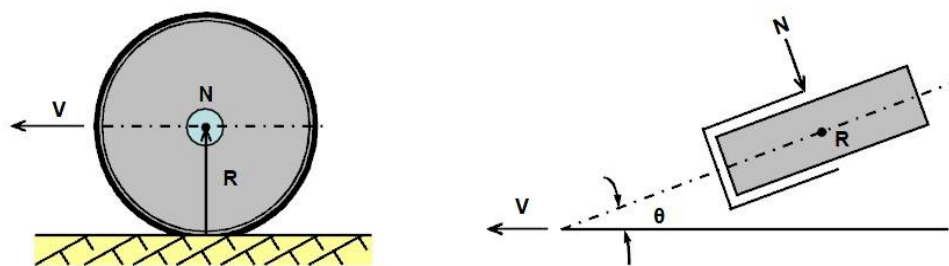


Figure 40 : Principe de calcul du coefficient de frottement transversal[7]

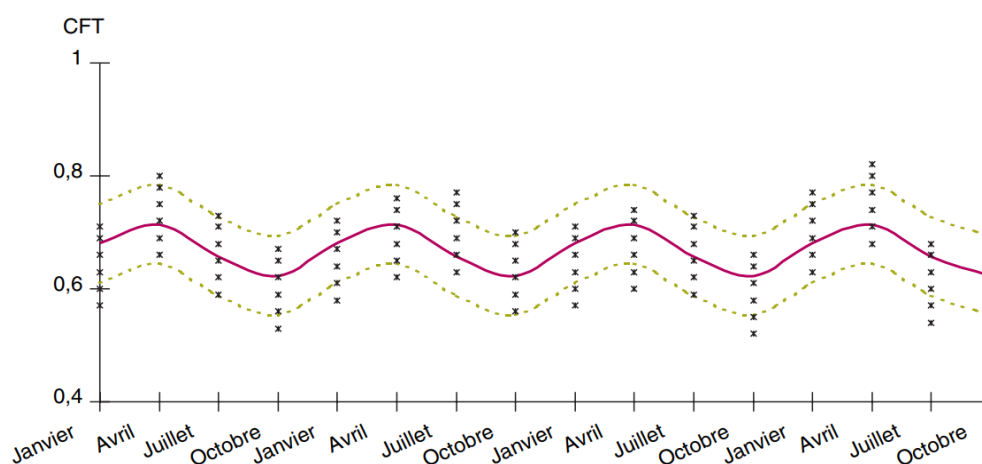


Figure 41: Variation saisonnière du coefficient de frottement transversal (France)

- Normes Européennes : le coefficient de frottement Transversal celant la norme Normes Européenne

V	40	60	80	100	120	140
Suisse (7%)	0,18	0,17	0,14	0,11	0,09	-
Allemagne (6%)	0,15	0,12	0,09	0,07	0,06	0,05
Allemagne (7%) (Exceptionnel)	0,19	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07
France (7%)	0,25	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09

Tableau 4 :coefficient de frottement Transversal (Normes Européennes) dans la réglementation B40[27]

- Normes algérienne : Dans l'attente d'une campagne de mesures permettant d'estimer les conditions spécifiques de l'Algérie, nous proposons d'adopter

pour les catégories 1 et 2, les valeurs moyennes de la gamme européenne pour les catégories 3-4 et 5, les mêmes valeurs majorées de 10 % à 15 %.

V(Km/h)	40	60	80	100	120	140
Catégories 1-2	0,20	0,16	0,13	0,11	0,10	0,09
Catégories 3-4-5	0,22	0,18	0,15	0,125	0,11	

Tableau 5:coefficient de frottement Transversal(Normes algérienne) dans la réglementation B40

iii.5 Appareil de mesure :

➤ Le SCRIM :

L'appareil SCRIM mesure un CFT en continu (normes NF P 98-220-3 et NF P 98220-4). Le SCRIM est un camion équipé d'une citerne de 6000 litres qui porte une roue de mesure sur le côté droit [6]. Les mesures sont effectuées dans le flot de la circulation, sur la bande de roulement droite, partie de la chaussée la plus sollicitée par le trafic. La roue de mesure fait un angle de 20° avec la direction de la vitesse du véhicule. Le taux de glissement utilisé est de 34%. Le pneu d'essai est un pneu lisse de 76x508 mm avec une dureté et une résilience standardisées. Le camion est également équipé d'un Rigolasse qui permet d'obtenir par calcul la profondeur moyenne du profil(PMP). La corrélation entre le CFT et la PMP donnée par le SCRIM dans un même profil va nous permettre de juger l'état détaillé de l'adhérence de la chaussée (la micro texture par l'intermédiaire du CFT et la macro texture par la PMP).



Figure 42: L'appareil SCRIM[17]

iii.6 Travaux sur la mesure de l'adhérence en Algérie :

En 2014, une étude a été menée à l'Université de Guelma portant sur des cas d'accidents de la circulation dans des tronçons du réseau routier de la wilaya de Guelma, en particulier sur la RN 20, RN 21 et RN 80. [6]

Au total, cinq (5) campagnes d'essai avec le pendule S.R.T ont été réalisées au niveau des points accidentogènes des routes nationales 20, 21 et 80. Il faut préciser ici qu'une zone d'accumulation d'accidents (ou points noirs) est une section de route de 200 m de longueur minimum où se sont produits au moins 10 accidents au cours de 5 années.

Les résultats de cette étude ont montré que le défaut d'adhérence contribue à favoriser les accidents lorsque les sollicitations de freinage et d'accélération transversale sont élevées. Les responsables de cette étude, ont imputé cela au fort trafic existant sur cette route et à l'influence de la déclivité (effort de freinage dans la pente, effort de traction dans la rampe) qui ont usé très rapidement la chaussée.

iii.7 Conclusion :

La surveillance et l'évaluation continues de l'adhérence des revêtements de chaussées sont essentielles pour assurer la sécurité routière. Les conditions de frottement longitudinal et transversal jouent un rôle crucial dans la performance des véhicules et la prévention des accidents. La méthode de mesure au pendule SRT permet de nous donner l'information nécessaire afin de garantir la durabilité et la performance à long terme des infrastructures routières.



iv. Chapitre4: Campagne d'essais in-situ : cas de la RN 101 et l'autoroute A01



iv.1 Introduction :

Parmi les caractéristiques de l'infrastructure routière influençant sur l'adhérence, la nature de la couche de roulement est la plus importante. De ce fait, la partie expérimentale présente les résultats des essais de mesure du coefficient de frottement longitudinal réalisés avec le SRT à l'état sec et humide de la chaussée de la RN 101 et la A01.

iv.2 Réseau routier de la wilaya de Ain Temouchent :

La wilaya d'Ain Témouchent compte avec les infrastructures routières suivantes : [28]

Route nationale : RN 328 Km

Chemin de Wilaya : 235 Km

Chemin communal : 570 Km

Nombre d'ouvrage d'art sur Route nationale : 77

Nombre d'ouvrage d'art sur Chemin de Wilaya : 32

Nombre d'ouvrage d'art sur Chemin communal : 38



Figure 43 :carte du réseaux–routier de-Ain-Temouchent

iv.3 Climatologie de la zone d'étude :

➤ Ain Témouchent : [13]

Ain Témouchent possède un climat tempéré méditerranéen à été chaud et sec selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Ain Témouchent est de 19.1°C et les précipitations sont en moyenne de 316,2mm par an.

➤ Précipitations Moyennes Mensuelles (A.T) :

Les précipitations moyennes de 3.2mm font du mois de Juillet le mois le plus sec. En Novembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 54.5mm.

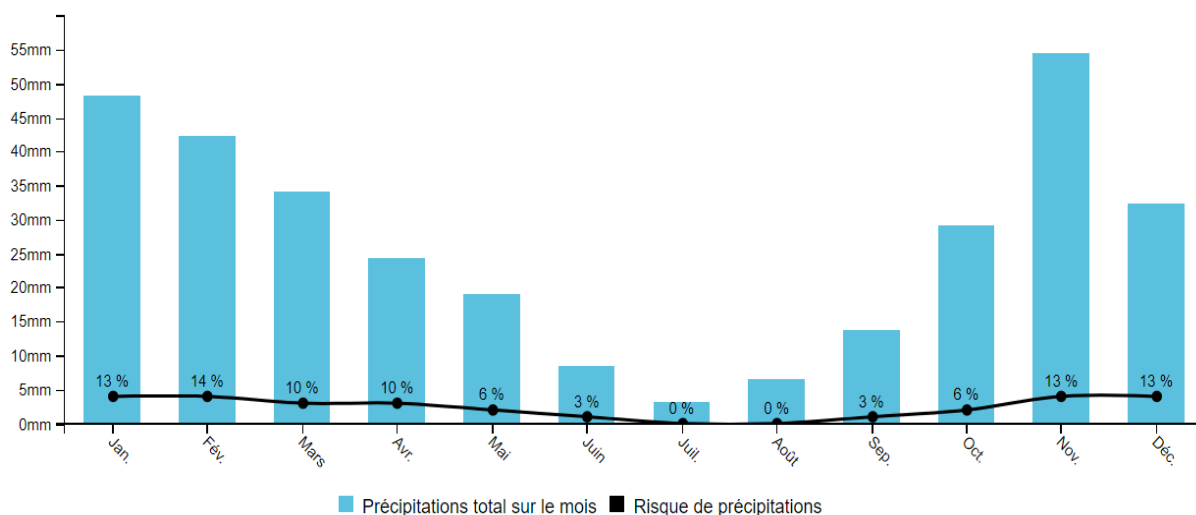


Figure 44 : Précipitation total moyenne A.T[13]

➤ Températures Moyennes Mensuelles (A.T) :

Au mois d'août, la température moyenne est de 26.2°C. Août est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 13.4°C à cette période.

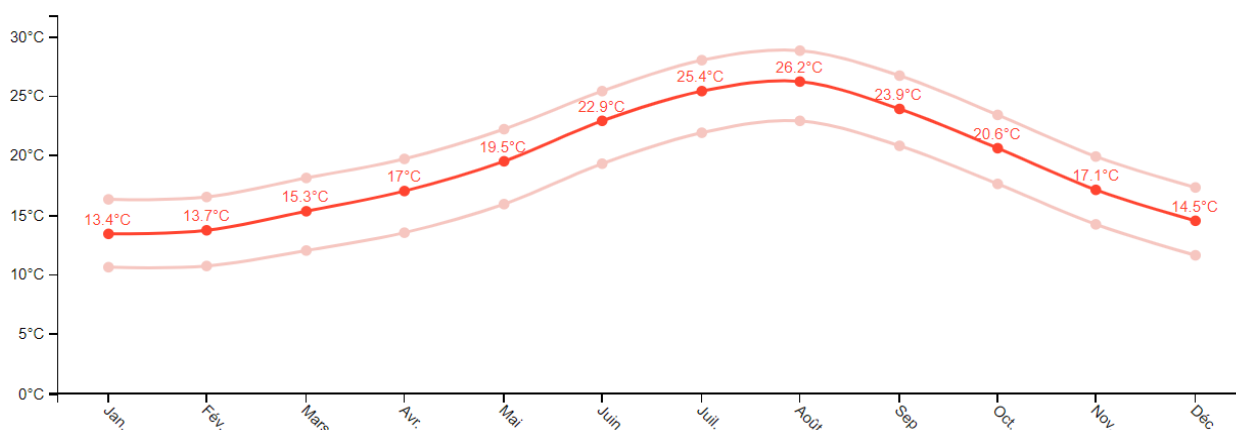


Figure 45 : :température moyenne de air temouchent (A.T)(source météo Algérie)[13]

➤ Taux d'humidité relative (A.T):

Les précipitations varient de 51,3mm entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. L'amplitude des températures tout au long de l'année est de 12.8°C.

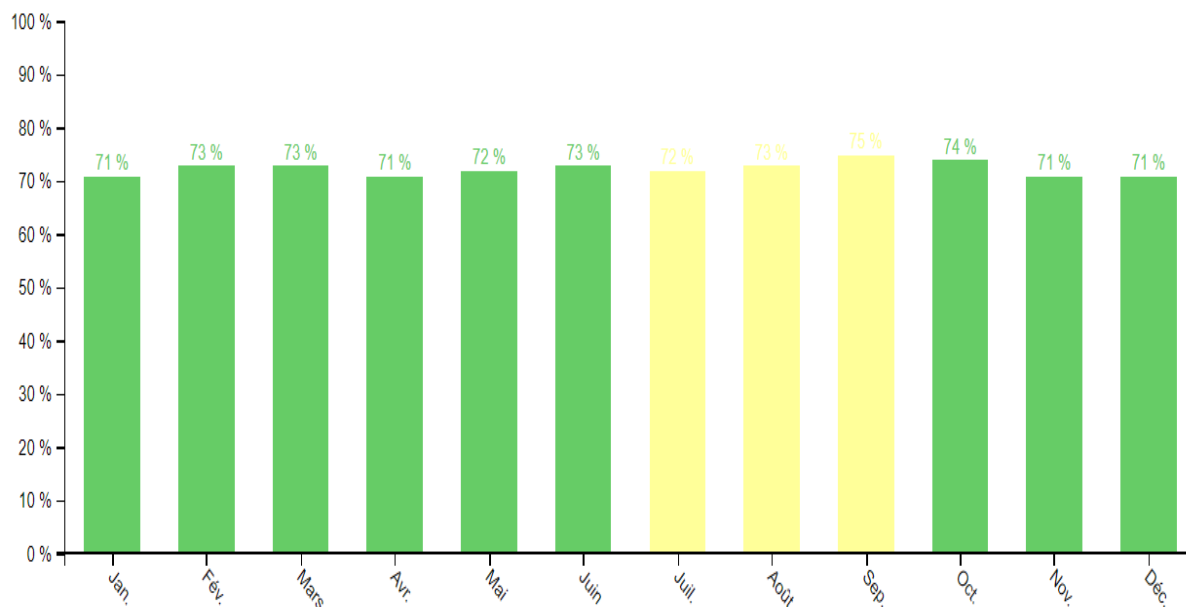


Figure 46 : humidité relative (A.T) [13]

➤ Sidi Bel Abbes [13]

Sidi-Bel-Abbès possède un climat tempéré méditerranéen à été chaud et sec (Csa) selon la classification de Köppen-Geiger. Sur l'année, la température moyenne à Sidi-Bel-Abbès est de 18.9°C et les précipitations sont en moyenne de 337.4mm.

À titre de comparaison à Alger, la température moyenne annuelle est de 19.7°C et les précipitations sont en moyenne de 672.3mm

➤ **Précipitations Moyennes Mensuelles (SBA):**

Des précipitations moyennes de 1.5mm font du mois de Juillet le mois le plus sec. En Novembre, les précipitations sont les plus importantes de l'année avec une moyenne de 61.2mm.

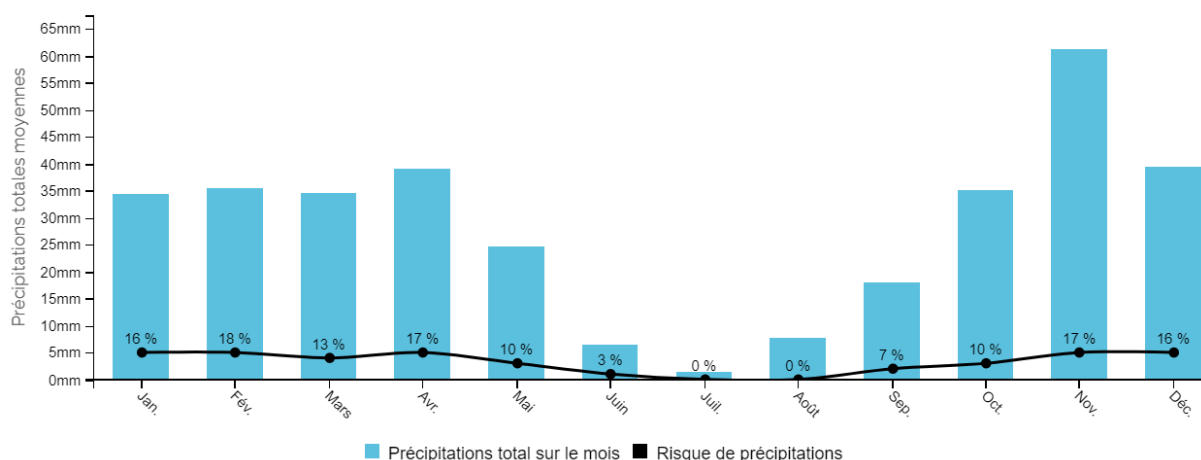


Figure 47 : Précipitation total moyenne SBA [13]

➤ **Températures Moyennes Mensuelles (SBA) :**

Au mois d'Août, la température moyenne est de 29.2°C. Août est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 10.1°C à cette période.

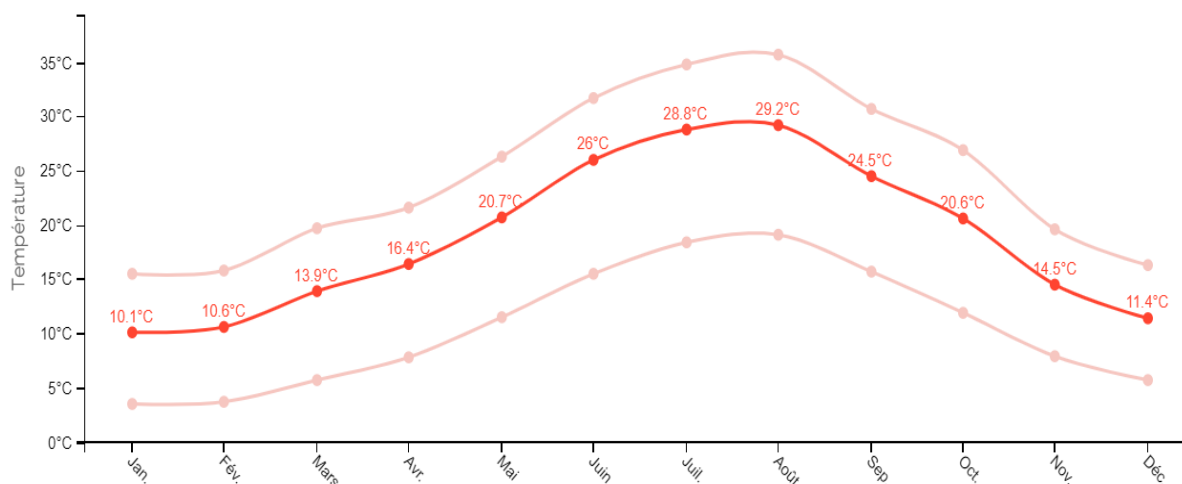


Figure 48 :Figure température moyenne de (SBA)[13]

➤ Taux D'humidité Relative Et Inconfort Par Rapport À La Température(SBA):

On remarque que le taux d'humidité relative est pratiquement stable toute l'année avec une légère variation.

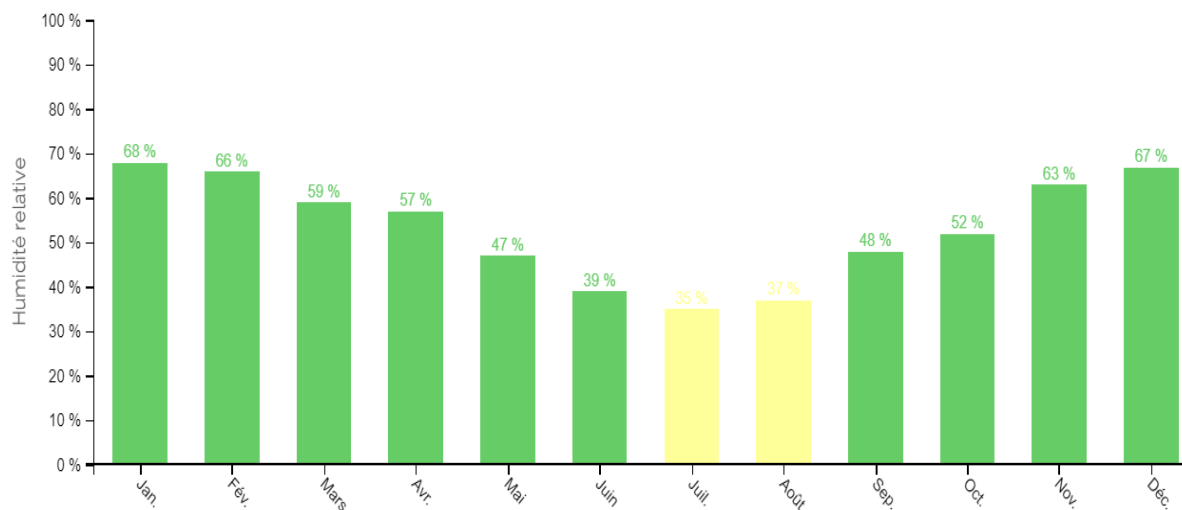
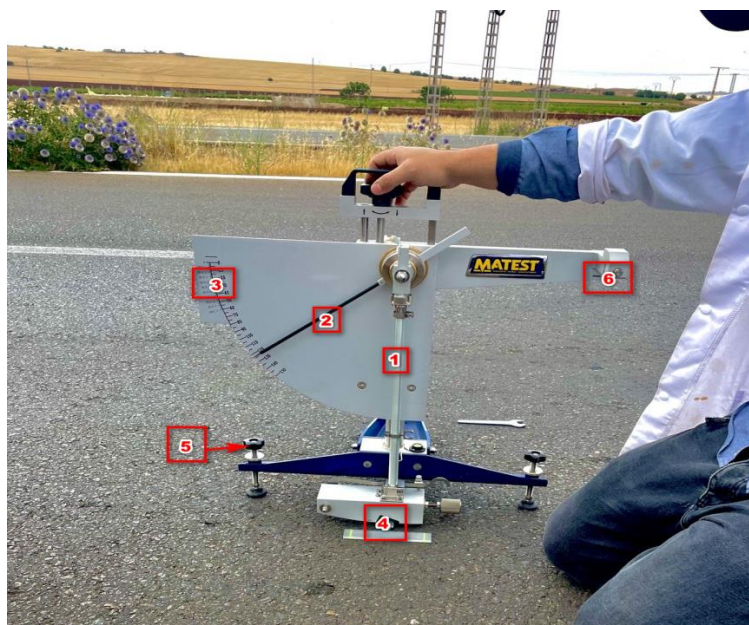


Figure 49 : :humidité relative (SBA)[13]

iv.4 Mesure du coefficient de frottement longitudinal in-situ :

- Matériels de mesures (Pendule S.R.T) :

La micro texture d'un revêtement peut être évaluée à l'aide du CFL obtenu à partir du pendule S.R.T (Skid Résistance Tester) (NF P 18-578). Cet appareil est utilisé dans plusieurs pays pour mesurer le frottement ponctuel.



1. pendule (rayon de 500 mm).
2. Aiguille.
3. Cadran gradué : échelle C (longueur de glissement de 126 mm), échelle F (longueur de glissement de 76 mm).
4. Patin en caoutchouc.
5. Vis de mise à niveau.
6. Point d'accrochage du pendule à l'horizontale et bouton de déclenchement.

- **Principe de l'essai :**

Un pendule porte à son extrémité un patin de caoutchouc frottant pendant l'essai sur la surface à mesurer. Pendant le frottement un ressort applique le patin sur cette surface avec une force déterminée. Un dispositif de réglage permet de maintenir la longueur de frottement dans des limites déterminées. La hauteur maximale de remontée du pendule, qui dépend de l'énergie absorbée par frottement, est repérée par une aiguille placée devant un cadran gradué directement en coefficient de frottement longitudinal (CFL) mesurés avec le pendule.

- **But de l'essai :**

L'essai permet d'apprécier un aspect de la rugosité d'une surface par frottement d'un patin de caoutchouc sur cette surface. Le but est donc de mesurer un coefficient de frottement qui est par définition, la moyenne divisée par cent d'un certain nombre de lectures effectuées sur le cadran du pendule. Plus l'adhérence rencontrée par le patin est élevée et moins le bras du pendule remonte après frottement.

- **Mode opératoire selon la NF P 18-578 :**

La détermination de la valeur pendulaire (CFL) est obtenue de la façon suivante :

1. Réglage à zéro, le pendule n'étant soumis à aucun frottement.
2. Le pendule est verrouillé en position horizontale.
3. Le pendule est ensuite libéré pour effectuer la mesure. Une valeur est repérée par l'aiguille d'indication, ce qui permet de lire directement le coefficient de frottement mesuré par le pendule.

Cette dernière opération doit être répétée à différents endroits de la chaussée.



Figure 50 : Photo prise au cours d'une mesure du CFL sur la RN101

iv.5 Campagnes de mesures :

- RN101 :

La première campagne s'est déroulée sur la route nationale RN101 reliant AIN t'émouchent avec sidi bel abbés (sortie Est de la ville le 21/05/2023 à 10H15min). Cet itinéraire est emprunté par un nombre de véhicules par jours estimé à 8500 V/J. [17]

Le corps de chaussée de la RN101 est composé de plusieurs couches dont la couche de roulement est constitué d'un béton bitumineux BB de 7 cm.

Les essais ont été réalisés sur trois points différents distancés de 5 à 10 mètres le long de la voie au niveau de la rive extrême gauche en allant vers Sidi Bel Abbes. Il est a noté que dans chaque point, nous avons réalisé 5 mesures.

Ces essais ont été menés à une température pratiquement constante de l'ordre de 23°. En se référant à la figure 45 de la variation de la température au niveau de la wilaya d'Ain Témouchent, nos essais sont réalisés dans la période chaude de l'année.



Figure 51: Positons des essais sur la RN101 (1^{er} campagne d'essai)

➤ **La composition de la couche de roulement de la RN101 :**

A défaut de ne pas pouvoir se procurer la composition de la couche de roulement (BB) de la route nationale RN101 auprès de la direction des travaux publics de la wilaya de ain Temouchent, nous présentons à titre indicatif une composition du squelette granulaire standard d'une couche en béton bitumineux pour la couche de roulement.

Un enrobé bitumineux est défini comme un mélange de liant bitumineux (5 à 7 % en masse) d'agrégats (de taille varie entre 0 et D) et de fines (passant à 80 µm). L'obtention des enrobés par mélange des granulats et du bitume fait appel à des propriétés bien spécifiques aux liants hydrocarbonés en général et donc au bitume en particulier :

- Un pouvoir d'adhésion aux granulats
- Une consistance variable avec la température.

▪ **Autoroute A01 :**

L'autoroute est-ouest en 3x3 voies est un projet autoroutier traversant toute l'Algérie parallèlement aux côtes méditerranéennes. L'autoroute doit relier la frontière tunisienne près de la ville d'El Kala à la frontière marocaine près de celle de Maghnia en passant près des grandes villes algériennes du nord tel que Annaba, Skikda,

Constantine, Setif, Alger, Chlef, Oran et Tlemcen, sur une distance de 1 216 km (1 720 km en comptant les routes annexes et les bretelles).

La campagne de mesure a été menée dans la section de sidi bel abbes au niveau du PK 30 au lieu dit sidi bousidi. Les essais ont été réalisés le 20/06/2023 sur la voie lente de la chaussée sur le côté droit en allant vers Tlemcen.

Ces essais ont été menés à une température pratiquement constante de l'ordre de 25°.



Figure 52 : Positions des essais sur la A01(2^{ème} campagne d'essai)

➤ La composition de la couche de roulement de la A01 :

La composition du squelette granulaire de la couche de roulement en BBMA de la section d'autoroute **A01 étudiée** est présentée dans le tableau ci-dessous.

MVR	%	% passant au tamis ... en mm															
		20	16	14	12,5	10	8	6,3	4	2	1	0,315	0,250	0,080	0,063		
Kg/m ³																	

Gravillon 6,3/10	2919	61,0				100	86,6	44,2	12,0	1,7	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Sable 0/2 M	2898	15,0								100	95,4	62,2	24,7	21,3	10,1	9,1
Sable 0/2 T	2716	18,0								100	99,0	67,4	29	25,0	12,8	11,8
Filler	2685	6,0												100	86,6	81,3
Mélange	2862	100				100	91,8	66,0	46,3	40,0	38,3	27,6	15,0	13,8	9,1	8,5

Tableau 6 :La Formule de mélange BBMA 0/10-00 23 (source ADA)

iv.6 Résultats et discussions :

- **RN 101 :**

Le tronçon de la RN101 entre sidi bel abbés et Ain t'émouchent est à 2x2 voies. Les résultats du CFL sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les positions des points de mesures sur les voies sont illustrées dans la figure 39 ci-avant :

✓ À l'Etat sec :

Point De Mesure Lecture Des point	Point N°1	POINT N°2	POINT N°3
1	80	102	82
2	84	100	86
3	88	100	86
4	90	103	88
5	88	100	86
Moyenne(%)	86	101	85,6
CFL	0,86	1,01	0,856

Tableau 7 : Résultats de la 1^{ère} campagne d'essai à Sec

✓ A Etat Humide :

Point De Mesure Lecture Des point	Point N°1	POINT N°2	POINT N°3
1	55	60	52
2	55	62	55
3	58	65	55
4	60	65	55
5	60	70	56
Moyenne(%)	57,6	64,40	54,6
CFL mouillé	0,576	0,644	0,546

Tableau 8 : Résultats de la 1^{ère} campagne d'essai à état humide

Nous remarquons que la valeur du CFL augmente d'environ 65% lorsque l'état de la chaussée est sec par rapport à l'état humide ce qui montre l'importance de l'état de la chaussée sur la distance de freinage.

- comparaissant de coefficient de frottement (CFL) entre les deux étas

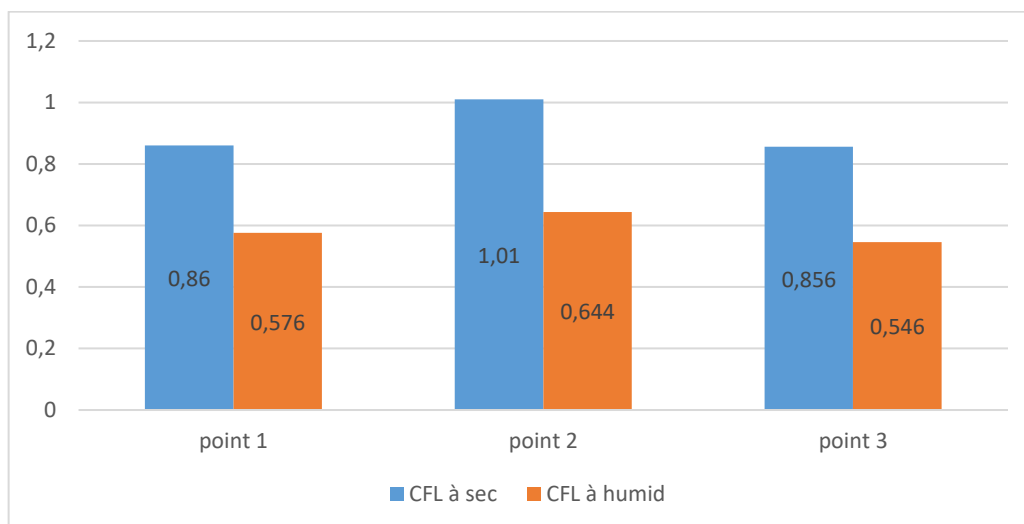


Figure 53 : courbe de CFL mouillé à l'état humide et sec (essai 01)

• A01 :

✓ À l'Etat sec :

Point De Mesure / Lecture Des point	Point N°1	POINT N°2	POINT N°3
1	95	107	105
2	105	107	105
Moyenne(%)	100	107	105
(CFL)	1	1,07	1,05

Tableau 9 : Résultats de la 2^{em} campagne d'essai à état sec

✓ A l'Etat Humide :

Lecture Des point	Point De Mesure	Point N°1	POINT N°2	POINT N°3
	1		70	69
2		-	75	74
Moyenne(%)		70	72	74,5
(CFL)mouillé		0,7	0,72	0,745

Tableau 10 : Résultats de la 2^{em} campagne d'essai à état humide

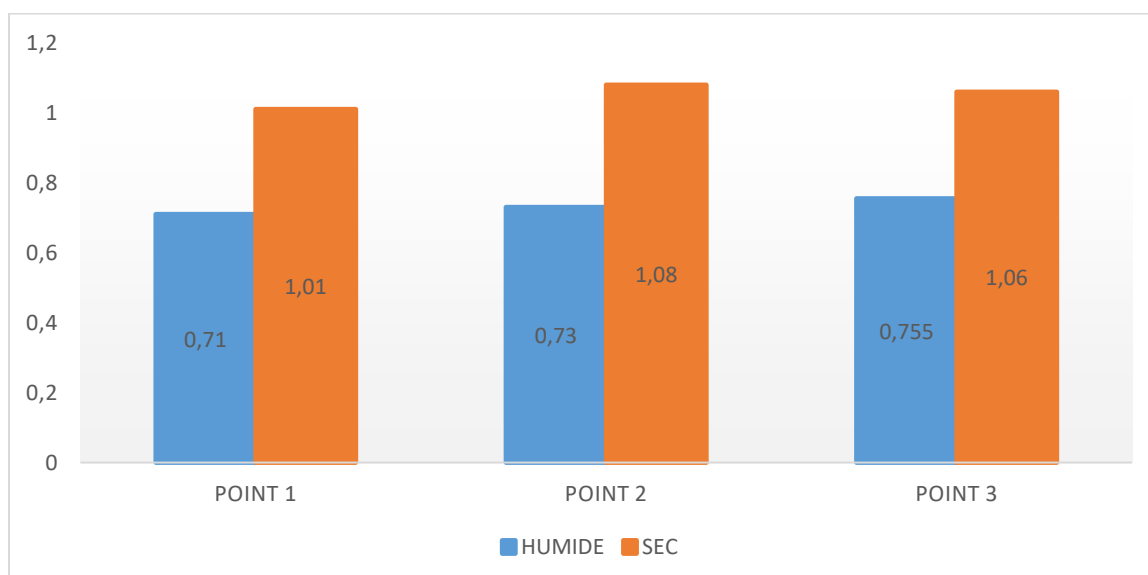


Figure 54: courbe de CFL à l'état humide et sec (essai 02)

Comme pour la RN101, on remarque que pour la A01 le CFL augmente de 70% lorsque l'état de la chaussée est sec par rapport à la chaussée mouillée.

- Pour une surface donnée,

Pour les trois emplacements successifs. La moyenne générale des lectures subit une correction du zéro et une correction de la température (tableau ci-dessous).

Température °C	0	2	5	8	10	13	15	20	25	30	40
Correction	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3

Tableau 11: Correction de la température[6]

✓ Les résultats après la correction de la température :

Température °C	25°	25°	25°
Moyenne(%) Humide	71	73	75,5
Moyenne(%) sec	101	108	106

Tableau 12 : Les résultats après la correction de la température

- **La comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01 :**

Lorsque on compare les moyennes des valeurs mesurées du Coefficient de Frottement Longitudinal (CFL) entre la route nationale (RN101) et celles de l'autoroute (A01), on constate une différence de 20%. Les valeurs mesurées sur la A01 étant supérieures par rapport à celle de la RN101.

	La route national (RN101)		autoroute est ouste(A01)	
	Sec	Humide	sec	humide
Point 01	0,86	0,57	1	0,7
Point 02	1,01	0,64	1,07	0,72
Point 03	1,02	0,54	1,07	0,745

Tableau 13 : comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01

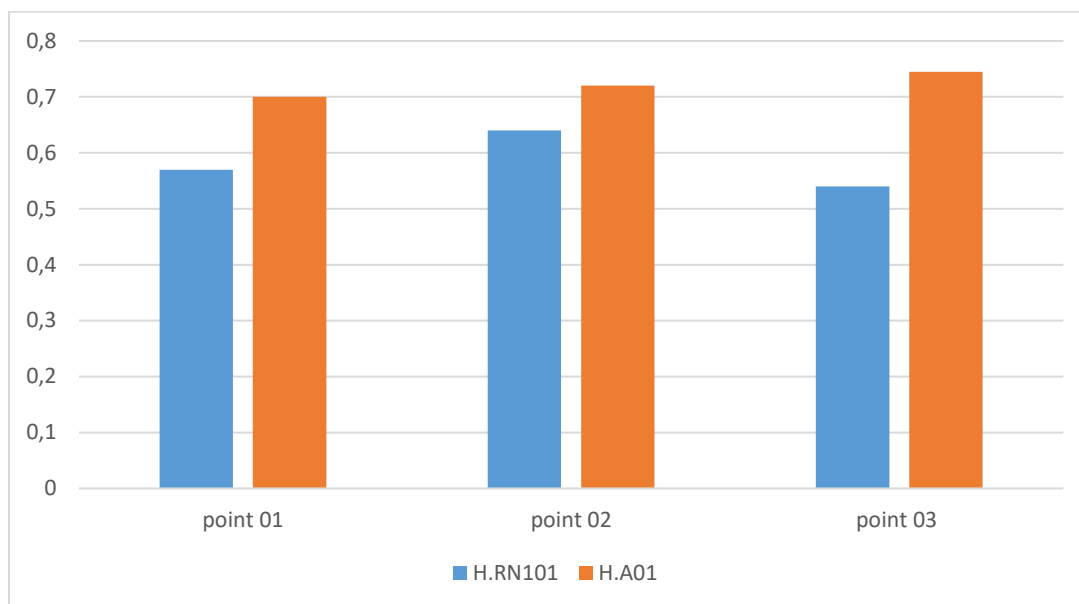


Figure 55 : comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01 a l'Etat humide

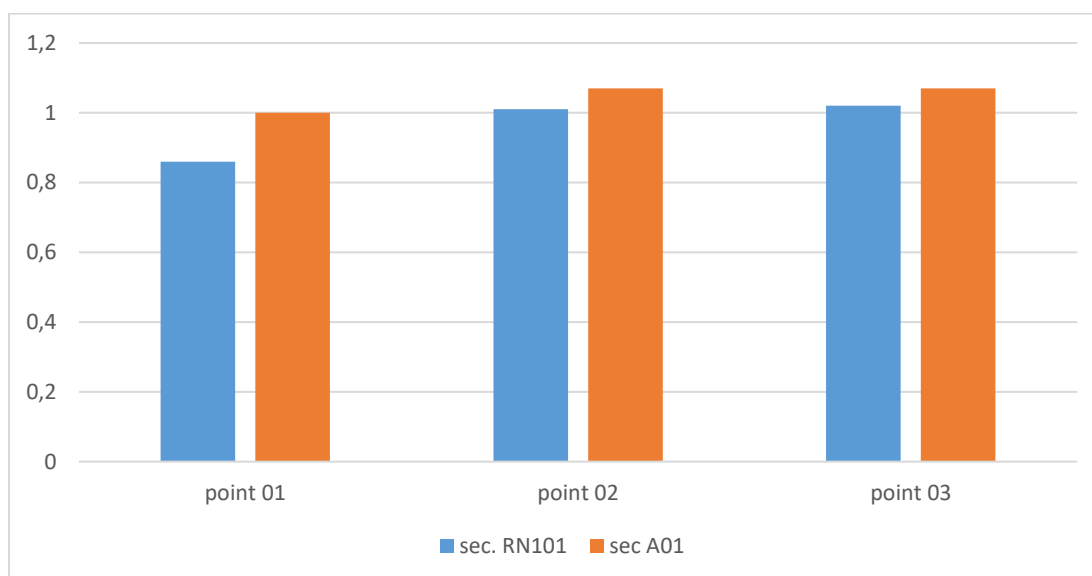


Figure 56 : comparaisant de coefficient de frottement (CFL) entre RN101 et A01 a l'Etat sec

Cela peut être expliquer par la qualité du revêtement utilisé, son âge et son entretien. Les routes nationales peuvent avoir un revêtement plus ancien ou moins entretenu, ce qui peut réduire la friction de la chaussée et l'adhérence des pneus des véhicules.

Par contre, les autoroutes sont généralement construites avec des matériaux de haute qualité et bénéficient d'un entretien régulier. Le revêtement autoroutier est conçu pour

offrir une friction de la chaussée optimale, ce qui permet une adhérence supérieure des pneus, en particulier à des vitesses plus élevées.

- Après la comparaisent de resulta des valeur avec la règlement algérien B40 LA CFL est largement supérieur a les valeurs exigiez :

V(Km/h)	40	60	80	100	120
Catégories 1-2	0,45	0,42	0,39	0,36	0,33
Catégories 3-4-5	0,49	0,46	0,43	0,40	0,36

Tableau 14 : coefficient de frottement longitudinal normes algérienne dans la réglementation B40

iv.7 Conclusion :

Après l'analyse des résultats, il est clair que l'A01 affiche des performances supérieures en termes de coefficient de frottement longitudinal par rapport à la RN101. Cela signifie que l'A01 offre une meilleure adhérence et une plus grande sécurité routière, réduisant ainsi les risques de dérapage ou d'accidents liés au faible coefficient de frottement.

Il est important aussi de noter que les résultats obtenus montrent une supériorité constante de l'A01 et de la RN101 par rapport à la norme B40. Cette différence peut être attribuée à des facteurs tels que des matériaux de revêtement de meilleure qualité, une meilleure conception de la chaussée et des techniques d'entretien plus avancées.



CONCLUSION GENERALE



Conclusion général

L'adhérence des chaussées revêt une importance capitale pour la sécurité routière. Elle dépend de plusieurs facteurs, tels que l'état de la chaussée, la texture de la surface, les conditions météorologiques et la qualité des pneus. Une bonne adhérence est essentielle pour maintenir le contrôle du véhicule, réduire les risques de dérapage et d'aquaplanage, et prévenir les accidents de la circulation.

Pour garantir une adhérence optimale, il est nécessaire de maintenir les infrastructures routières en bon état, en veillant à la qualité de la construction et à un entretien régulier des chaussées. Les matériaux et revêtements utilisés doivent être adaptés aux conditions locales et assurer une bonne adhérence, en particulier sous la pluie, la neige ou le gel.

En ce qui concerne l'adhérence des revêtements des chaussées, nous avons analysé les facteurs clés qui influent sur celle-ci, notamment la rugosité de la surface, la texture, la composition des matériaux. Nous avons également examiné les méthodes d'évaluation de l'adhérence et les mesures permettant d'améliorer celle-ci.

Après l'analyse des résultats, il est clair que l'A01 affiche des performances supérieures en termes de coefficient de frottement longitudinal par rapport à la RN101. Cela signifie que l'A01 offre une meilleure adhérence et une plus grande sécurité routière, réduisant ainsi les risques de dérapage ou d'accidents liés au faible coefficient de frottement

Ce travail expérimental réalisé sur terrain a permis d'approfondir notre compréhension de divers aspects liés aux revêtements de chaussées et à l'adhérence. Nous avons étudié différents types de revêtements, qui sont le béton bitumineux et le BBMA.

Références bibliographique :

- [1] C. Ix, D. Du, and C. D. E. Chaussee, "Dimensionnement du corps de chaussée," pp. 49–59, 2012.
- [2] E. U. Tlemcen, "Cours Génie Forestier," [Online]. Available: <https://elearn.univ-tlemcen.dz/mod/resource/view.php?id=15779>
- [3] M. Diakhate, "Fatigue et comportement des couches d' accrochage dans les structures de chaussée," p. 250, 2007.
- [4] R. Algerienne and D. Et, "Mémoire," *Etude d'un bâtiment à usage d'habitation contreventement Mix. (Voiles – Portiques) Soutenu*, 2022.
- [5] D. Thébeau, "La dalle en béton armé continu à transports Québec," *TAC/ATC 2004 - 2004 Annu. Conf. Exhib. Transp. Assoc. Canada Transp. Innov. - Accel. Pace*, 2004.
- [6] T. Adizatou, "Mémoire de Master Thème : ADHERENCE DES CHAUSSEES ROUTIERES DE GUELMA : UTILISATION DU PENDULE S . R . T," 2014.
- [7] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, *Mesure de l'adhérence des chaussées routières et aéronautiques*. 2006.
- [8] T. De Bachelor, "Les facteurs influençant l' adhérence médicamenteuse dans la douleur chronique non maligne au sein de la population adulte," 2015.
- [9] L. des chaussées É. de l'art et recommandations | O. 2015, "L'adhérence des chaussées," 2015.
- [10] M. Translated, "Effet du verre concassé sur la résistance au sensibilité à l' humidité et à chaud Introduction," 2019.
- [11] "Etude sur la micro - texture et la résistance au dérapage des granulats lors du polissage," 2017, doi: 10.1007/s11709.
- [12] Tang, "Polishing and skid-resistance of road surfaces," 2008.
- [13] L. mécanismes de l'adhérence sur Routes and Introduction, *Le pneu Le pneu*.
- [14] des chaussées Routières, Adhérence, and et facteurs D'influence, "Adhérence des chaussées routières et facteurs d'influence".
- [15] C. G. LIMA, "L'influence de la température sur les enrobés bitumineux en fonction du dosage en liant : Possibilité de réduire les dégradations précoces au niveau de la couche de surface.," 2016.
- [16] normes techniques d'aménagement des Routes, "Www.lmgc.fr," *B 40*. 1977.
- [17] catalogue de l'appareil "pondul S. " laboratoire de U. ain temouchent 2021, "catalogue1 (1).pdf." 2021.
- [18] norme européenne N. E. 13036-4, "NF EN 13036-4 Mars 2012.pdf," *norme Eur..*
- [20] ASTM (2020). E524-08. Spécification standard pour le pneu lisse standard pour Essais de résistance au dérapage de la chaussée. ASTM International, West

Conshohocken, Pennsylvanie. Essais de résistance au dérapage de la chaussée. ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvanie.

[21] Société Michelin, Le pneu/L'adhérence, Clermont-Ferrand : Société de Technologie Michelin, 2000.

[22] Centre de recherche routière-Bruxelles, Code de bonne pratique pour le choix du revêtement bitumineux lors de la conception ou de l'entretien des chaussées R 78/06.

[23] Thèse : Polissage et Adhérence des chaussées routières, Zhenzhong Tang, Octobre 2007, ENPC.

[24] Conception et dimensionnement des structures des chaussées : guide technique SETRA 1994

[25] Conception et dimensionnement des structures des chaussées : guide technique SETRA 1994

[26] CTTP, novembre 2001, « catalogue de dimensionnement des chaussées neuves », fascicule 1, 2 et 3, Ministère des travaux publics

[27] B40 _ Normes techniques d'aménagement des routes, Etude technique et économique des aménagements routiers, Manuel du projeteur, Octobre 1977.

[28] <http://www.mtp.gov.dz/>