

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Kasdi Merbah Ouargla



FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUÉES

Département de Génie Civil et D'Hydraulique

Filière : Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master en Travaux Publics

Spécialité : Voies et Ouvrages d'Art (VOA)

Thème

Effet du gradient thermique en zone saharienne sur la durabilité des chaussées routières (cas de Ouargla).

Présenté par :

❖ **LICHANI R.**

❖ **GHATTAS M.**

Soumis devant le jury composé de :

BENTATA Aissa	MMA	UKM Ouargla	Président
AOUAM Abdou	ING. TP, Ex DTP	BET	Examineur
ABIMOULOUD Youcef	Maitre de conférences	UKM Ouargla	Encadreur
BOUAAKKA Ouafa	Drocteur	LTPSud OGX	Co-Encadreur

Année Universitaire: 2019 / 2020

Remerciement :

Je commence par remercier dieu tout puissant, de nous avoir donné le courage et l'optimisme de finir ce travail

Je voudrais saisir l'occasion qui m'est offerte pour exprimer ma profonde gratitude et tous mes remerciements à mes promoteurs Dr **ABIMILOUD Youcef** Maitre de conférences à l'Université **KASDI MERBAH- OUARGLA** pour ses précieux conseils, et Dr **BOUAAKA Ouafa** pour ses critiques constructives et ses intérêts qu'elle a porté toute au long de l'élaboration de ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements à tous les membres du jury, qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce mémoire.

J'adresse mes remerciements aux membres de « laboratoire des travaux publics sud – Ouargla », en particulier à monsieur **FOULANI Mourad** pour son aide, soutien et encouragement.

Merci aux étudiants de ma promotion, pour leurs aides et leurs soutiens durant toute la période de ma formation.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble des enseignants qui J'ai rencontré durant ma carrière scolaire.

Enfin, je souhaite adresser mes remerciements à tous ceux qui par leur aide et leur soutien m'ont permis de réaliser cette étude.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire :

A ma source de bonheur et motivation

Mes chers parents

(LICHANI Brahim, HAMAIDIA Abla)

En guise de respect et gratitude pour les grands sacrifices qu'ils ont faits

*Leurs amours, leurs bontés, leurs encouragements perpétuels, leurs soutiens
puissent*

Allah prolonger leurs vie dans le bonheur

*Nulle dédicace ne puisse exprimer ma reconnaissance pour leurs patiences
illimitées, leurs aides*

*A mes petites sœurs **MALEK** et **ARIDJ** et mon frère **SALEH**, que dieu les gardes*

*A ma grande famille : MAMA ZINEB, NAZIHA, HOUDA, MOUFIDA, HAKIMA,
ROCHDI, AMMAR, BASMA, SOUMIA*

*A notre encadreurs : Mr **ABIMILOUD** Youcef et mm **BOUAAKA Ouafa***

*A mes chers amis : MOKDADI RACHA, BENOUAN MEROUA, BENSNGHEIR
RYM, BOUDJAADAR IKBAL.*

Remerciement	1
Dédicace	2
Sommaire	3
Résumé	4
Introduction générale	14
Partie I: revue de littérature	16
Chapitre 01 : présentation de la zone d'étude	17
Introduction	18
1 ^{er} partie I.2 contexte géomorphologique	18
I.2.1 situation géographique	18
I.2.2 aspect administratif	19
I.2.3 topographie de la région	20
I.2.4 hydrogéologie de la région	20
I.2.5 climat de la région	21
2eme partie : I.3 infrastructure de base	25
I.3.1 réseau ferroviaire	25
I.3.2 réseau aéroportuaire	26
I.3.3 réseau routier	26
Conclusion	27
chapitre II : généralités sur la structure les chaussées routières	
II.1 la structure des chaussées routières	29
II.1.1. introduction	29

II.1.2. généralités sur les chaussées	29
II.1.3. la structure de chaussée	29
II.1.3.1. les couches de surface	29
II.1.3.1.1. Couche de roulement	30
II.1.3.1.2. Couche de liaison	30
II.1.3.2. Couches d'assise	30
II.1.3.2.1. Couche de base	30
II.1.3.2.2. Couche de fondation	30
II.1.3.2.3. l'accotement	30
II.1.3.2.4. Fossé	30
II.1.3.2.5. Couche de forme	32
II.1.3.2.6. Fond de forme (sol support)	31
II.1.4. types de chaussées	31
II.1.4.1. Chaussées souples	31
II.1.4.2. Chaussées bitumineuses épaisses	31
II.1.4.3. Chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussées semi rigides	32
II.1.4.4. chaussées à structure mixte	32
II.1.4.5 Chaussées à structure inverse	32
II.1.4.6 Chaussées en béton de ciment	32
II.2 Bétons bitumineux	32
II.4. Composition de béton bitumineux	33
II.4.1 Bitume	33
Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume	34

Essais de caractérisation des bitumes	34
Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF T66 – 004)	34
Essai de point de ramollissement bille et anneau (NF T66 – 008)	35
II.6. Formulation des bétons bitumineux	36
II.7. Paramètres influençant le choix d'une formulation	37
II.8. La compacité	38
II.9. Les propriétés mécaniques des bétons bitumineux	38
II.9.1. Essai Marshall (NF P98-251-2)	38
II.9.2 Essai Duriez (NF P98-251-1)	39
CONCLUSION	40
Chapitre 03 :_Propriétés thermiques des matériaux et les dégradations des chaussées souples	41
III.1 Introduction	42
III.2 Propriétés thermiques	43
III.2.1 Conductivité thermique	43
III.2.2 Capacité thermique	43
III.2.3 Diffusivité thermique	44
III.3 Transfert de chaleur dans les milieux poreux	44
III.4 Les dégradations des chaussées	45
III.5.1 Effet de la température sur les chaussées souples	48
III.5.2 Effets de la température sur les chaussées flexibles	50
III.6 Conclusion	54
Chapitre 04 : Caractéristiques des matériaux utilisés	56
IV.1. Introduction	57

IV.2. Caractéristiques des agrégats utilisés	57
IV.2.1. Masse volumique (NF P18-301)	58
IV.2.3. Analyse granulométrique (NFP 18-560)	58
IV.2.4. Equivalent de sable à 10% de fine (NF P18-597)	59
IV.2.5 Essai bleu de méthylène (NF P 94-068)	59
IV.2.7. Essai d'aplatissement	60
IV.2.8. Essai Los Angeles (NF P 18-573)	60
IV.2.9. Essai micro-deval en présence d'eau (MDE) (NF P 18-572)	60
IV.3 Caractéristiques du bitume utilisé	61
IV.4. Description des mélanges étudiés	61
IV.4.1 Etude Du Béton Bitumineux 0/14	61
IV.4.2 Détermination des teneurs en bitume	63
PLAN DE TRAVAIL	64
1- Confection des éprouvettes	64
2- Conservation des éprouvettes	65
IV.5 Conclusion	66
Chapitre 05 : Résultats et interprétations	67
V.1 Introduction	68
V.2 La masse volumique apparente par pesée hydrostatique (NF P 98-250-6)	68
V.3 Essai Marshall (NFP 98-251-2)	69
V.2.3 Essai Duriez (NFP 98-251-1)	71
V.3 Conclusion	73
Conclusion générale	74
Référence	77

Liste des figures	
Chapitre 01	
Figure (I.1) : Carte géographique représentant les wilayas de l'Algérie.	18
Figure (I.2) : Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014).	20
Figure (I.3) : La précipitation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014).	21
Figure (I.4) : Durée mensuelle moyenne d'insolation de la région d'Ouargla (2004-2014). 7	21
Figure (I.5) : vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2004-2014).	22
Figure (I.6) : évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla. 7	22
Figure (I.7) : humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014).	23
Figure (I.8) : les zones climatiques en Algérie.	24
Photo (I.1) : chemin de fer entre Touggourt et Biskra	24
Photo (I.2) : aéroport Krim Belkacem- Hassi Messaoud –Ouargla.	25
Photo (I.3): route RN3 entre Ouargla et Touggourt	25
Chapitre 02	
figure (II.1) : coupe transversale schématique de la chaussée	30
Figure (II.2) : Types des chaussées.	31
figure (II.3) : composition de béton bitumineux	32
figure (II.4). fabrication des bitumes par raffinage du pétrole.	32
Figure (II.5) : Principe de l'essai de pénétrabilité.	33
Figure (II.6): Principe de ramollissement.	34
Figure (II.7): Machine d'essai Marshall	38
Figure (II.8) : Machine d'essai Duriez	38

Chapitre 03	
Figure (III.1) Définition de la conductivité thermique.	42
Figure (III.2) : Dégradations des chaussées par fissurations	46
Figure (III.3) : Dégradations des chaussées en faïençages	46
Figure (III.4) : Dégradations des chaussées en nids de poule	47
Figure (III.5) : relation entre la température de l'air et la température enregistrée à une profondeur de 20 mm	50
Figure (III.6) : Variation des températures internes de la chaussée due à la variation de la température en surface de la chaussée	52
Chapitre 04	
Figure (IV.1) Les courbes granulométriques des agrégats 3/8 et 8/15	58
Figure (VI.2) : Principe d'essai d'équivalent de sable	59
Photo (VI.3) : Essai au bleu de méthylène – vue de papier filtre et des tâches auréolées	60
Figure (VI.4) : COURBE DU MELANGE ETUDIÉ 0/14	62
Photo (VI.5): Exemple d'éprouvettes Marshall	64
Photo (VI.6): Exemple d'éprouvettes Duriez	64
Photo (VI.7) : conservation des éprouvettes Marshall et Duriez.	65
Chapitre 05	
Figure (V.1): variation de la densité en fonction du temps.	68
Figure (V.2): variation du Fluage Marshall en fonction du temps.	70
Figure (V.3): variation de la Stabilité Marshall en fonction du temps.	70
Figure (V.4): variation de la résistance à la compression à l'air (Duriez) en fonction du temps.	71
Figure (V.5): variation du rapport d'immersion (Duriez) en fonction du temps.	72

LISTE DES FIGURES:

Chapitre 01	
(tableau I.1): les communes et les daïras de la wilaya d'Ouargla	19
Chapitre 02	
tableau (II.1) : fractions granulaires 0/14 des BB	36
Chapitre 04	
tableau (IV.1) : masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés	58
tableau (IV.2) : équivalent de sable	59
tableau (IV.3) : bleu de méthylène	60
tableau (IV.4): caractéristiques des graviers utilisés	60
tableau (IV.5): caractéristiques du bitume 40/50	61
tableau (IV.6) : analyse granulométrique du mélange étudié 0/14	62
tableau (IV.7): teneurs en bitume	63
Chapitre 05	
Tableau (V.1) : récapitulatif des résultats retenus	72

Résumé :

Lors de cette étude, on a procédé au comportement thermique de béton bitumineux, pour déterminer l'effet du changement de température sur le corps de chaussée et sa durabilité.

La base de cette étude et le choix de formulation bitumineuse optimal qui a été déterminé à partir des analyses physiques des matériaux utilisées, toute cette opération a été effectuée au niveau de laboratoire –LTPS- Ouargla.

Une fois le mélange de la formulation réalisée, on a procédé (02) deux essais à savoir : Marshall et Duriez, on connaissant le mode d'emploi d'essai on a laissé la confection des éprouvettes normalisées et on a déréglé le mode de conservation des éprouvettes

On a obtenu des résultats qui montrent que le changement de la température (de 0°C jusqu'à 65°C) chaque jour pendant 7 et 14 jours a influé sur la résistance du béton bitumineux.

Summary :

In this study, the thermal behavior of asphalt concrete was performed to determine the effect of temperature change on the pavement body and its durability.

The basis of this study and the choice of optimal bituminous formulation which was determined from the physical analyzes of the materials used, all this operation was carried out at the laboratory level –LTPS- Ouargla.

Once the formulation was mixed, two tests were carried out (02) namely: Marshall and Duriez, we know the test instructions for use, we left the preparation of the standardized test pieces and we changed the mode of conservation test tubes

Results have been obtained which show that changing the temperature (from 0 ° C to 65 ° C) every day for 7 and 14 days affected the strength of asphalt concrete.

ملخص:

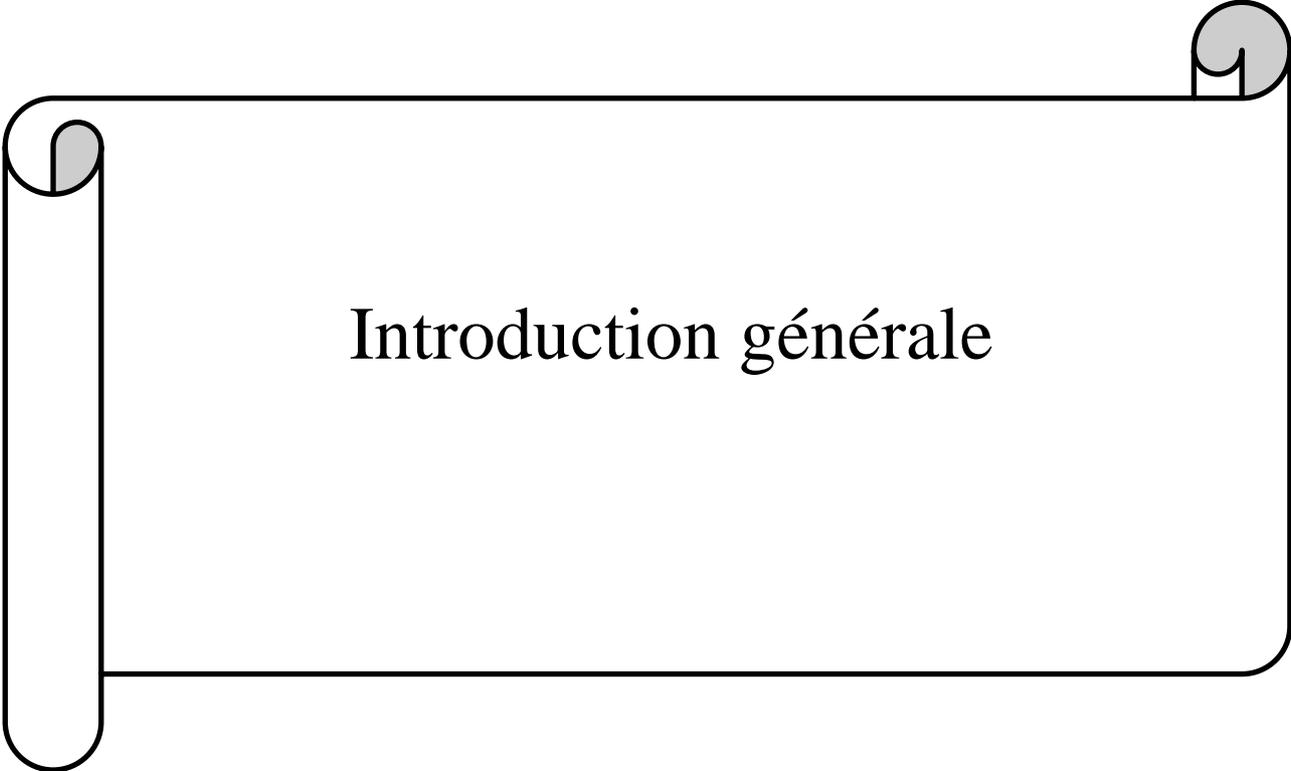
في هذه الدراسة تم إجراء السلوك الحراري للخرسانة الإسفلتية لتحديد تأثير التغير في درجة الحرارة على جسم الرصيف ومثانته.

أساس هذه الدراسة واختيار الصيغة الإسفلتية المثلى التي تم تحديدها من خلال التحليلات الفيزيائية للمواد المستخدمة ، كل هذه العملية أجريت على مستوى المختبر - LTPS - ورقلة.

بمجرد خلط المستحضر ، تم إجراء اختبارين (02) هما: مارشال ودوريز ، ونعرف تعليمات الاختبار للاستخدام ، وتركنا إعداد قطع الاختبار الموحدة وقمنا بتغيير طريقة الحفظ أنابيب الاختبار

تم الحصول على النتائج التي أظهرت أن تغيير درجة الحرارة (من 0 درجة مئوية إلى 65 درجة مئوية) كل يوم لمدة 7 و 14 يوماً أثر على قوة الخرسانة الإسفلتية.



A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the rolled-up ends. The scroll is positioned horizontally across the middle of the page.

Introduction générale

Introduction générale

Les routes dans les régions Sahariennes sont des ouvrages stratégiques pour le développement des pays. En Algérie on donne beaucoup d'intérêt à l'infrastructure routière car en d'hors du désenclavement cette infrastructure cruciale joue un rôle essentiel dans la relance économique en Algérie et notamment dans le du sud Algérien. Malgré les différents moyens de liaisons existants (Routes, voies ferroviaires, aviations ...etc.), le réseau routier est le seul moyen de liaison le plus efficace dans les différentes régions en Algérie, que ce soit pour le transport des voyageurs et /ou des marchandises, malgré les grands efforts déployés par l'état Algérien, le transport routier reste le moyen idéal pour arriver aux endroits les plus isolés du Sahara.

La particularité de l'Algérie en tant que pays producteur du pétrole, le bitume et les produits noirs provenant du raffinage des hydrocarbures, revient à un prix raisonnable et favorise la conception des routes Sahariennes aux normes internationales, utilisées à travers le territoire national. Néanmoins, les conditions climatiques défavorables du Sahara influencent négativement sur le comportement des chaussées qui se détérioraient dans des délais très courts.

Dans ce travail, nous nous sommes préposés d'abord de comprendre et d'analyser les propriétés des bétons bitumineux dans un contexte général pour qu'ensuite nous penchons sur l'effet du gradient thermique sur le corps de chaussées et plus particulièrement la couche de roulement.

Ce mémoire servira de recueil des normes et d'information sur les matériaux des couches de roulement des chaussées pour une conception et réalisation des routes durables pour un trafic intense en poids lourds dans les conditions arides du Sahara.

Pour aboutir à cet objectif, on a divisé le présent mémoire en deux grandes parties, bibliographique et expérimentale.

La première partie est consacrée à une revue bibliographique, dont le premier chapitre est consacré à la définition de la zone d'étude ; qui est divisée en deux parties, la première présente et traite la région de Ouargla du côté géographique, administratif, topographique, hydrogéologique et climatologique et la deuxième partie parle des infrastructures de base de la wilaya, plus précisément l'état des routes de Ouargla.

Le deuxième chapitre résume des généralités sur les chaussées et leurs structures qui comprennent les couches de surface et d'assise, ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé.

Le troisième chapitre est réservé aux propriétés thermiques des matériaux routiers et les pathologies ainsi que les dégradations rencontrées des chaussées.

La deuxième partie : comprend le programme expérimental qui est constitué de deux chapitres à savoir :

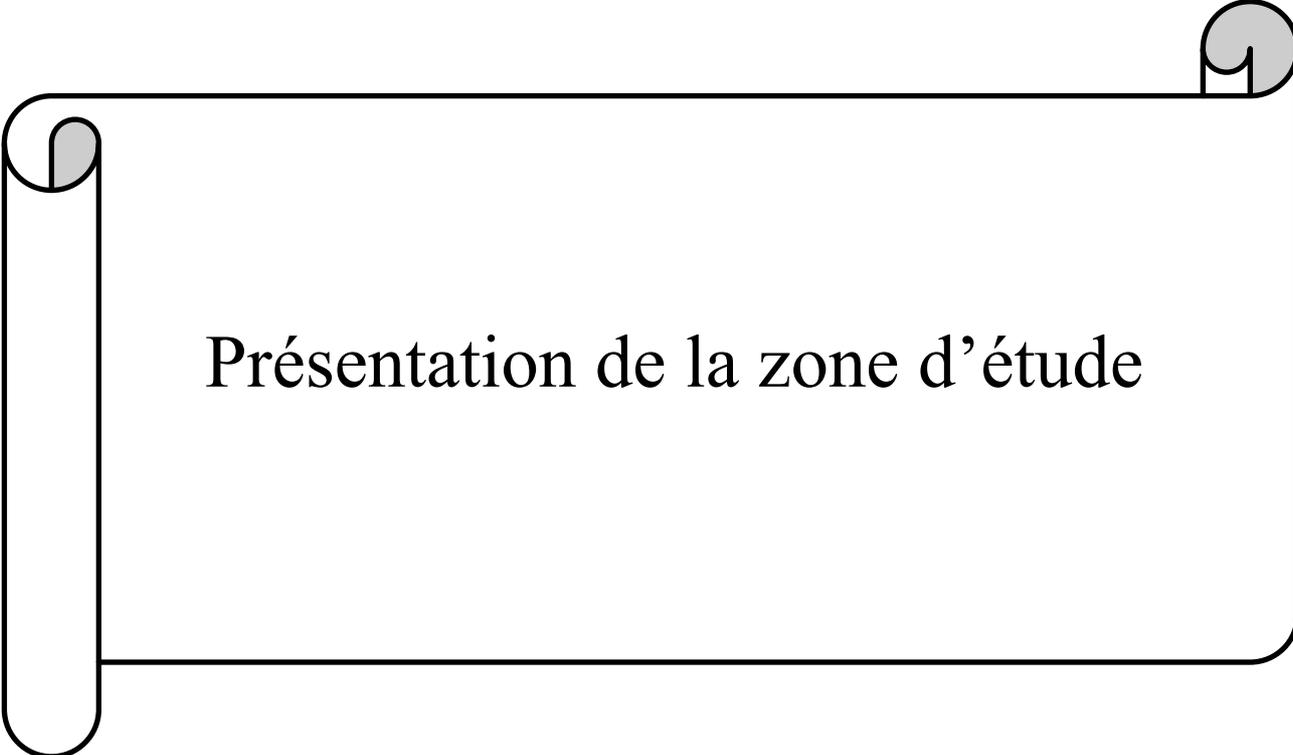
Le quatrième chapitre étudie la caractérisation des matériaux utilisés : granulats et le bitume afin de connaître les propriétés physiques, mécaniques et la détermination des courbes des mélanges étudiés et les teneurs en bitume.

Le cinquième chapitre présente les essais et les dispositifs expérimentaux utilisés. Dans ce chapitre, nous exposons les essais mécaniques utilisés dans ce travail : essai Marshall et essai Duriez ainsi que le principe et le déroulement de l'essai.

Enfin nous terminerons notre travail par une conclusion générale et des perspectives pour les études avenir.

1ER PARTIE :
REVUE DE LA
LITTIRATURE

Chapitre 01 :



Présentation de la zone d'étude

I.1 Introduction :

Le présent chapitre fait partie de l'étude bibliographique qui est divisée en deux parties, la première qui présente et traite la région de Ouargla du côté géographique, administratif, topographique, hydrogéologique et climatologique, et la 2^e partie parle des infrastructures de base de la wilaya et plus précisément l'état des routes de Ouargla ; aussi on a donné la définition de chaussées et leurs types, par la suite on a mentionné les facteurs influents sur les dégradations des chaussées, et à la fin on a donné quelques exemples de pathologie de route

1^{ER} PARTIE I.2 1^{ER} PARTIE I.2 CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE:

I.2.1 Situation géographique :

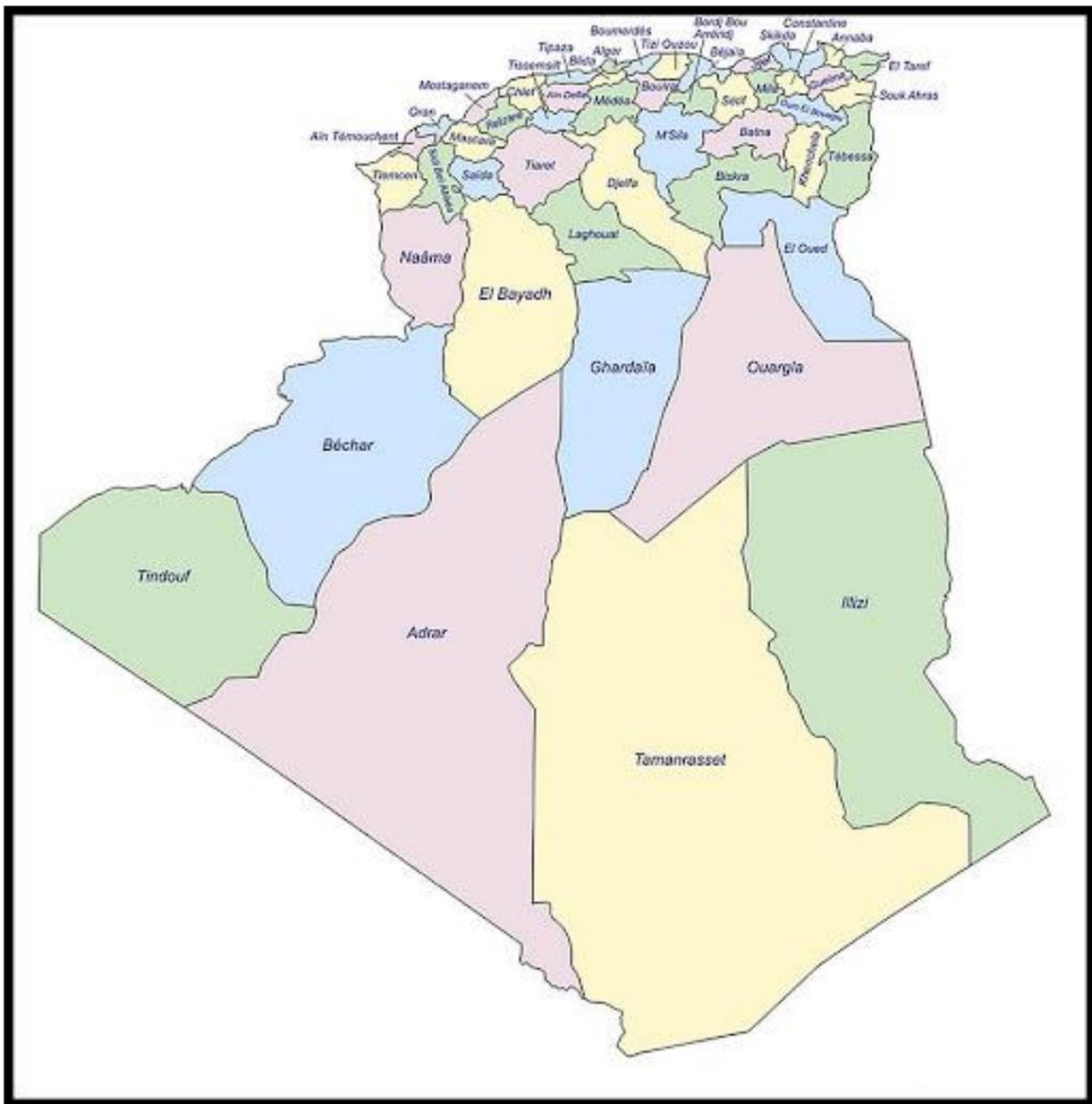
La wilaya de Ouargla (en berbère : ⵜⴰⵍⵍⴰⵎⴰⵏⵜ ⵏ ⵏⵓⵔⵔⵉⵔ; en arabe: ولاية ورقلة) est *une wilaya algérienne. La wilaya d'Ouargla est le cœur économique et le poumon de l'Algérie, grâce au pétrole de Hassi Messaoud. Sa superficie est de 211 980 km², sa population est estimée à 633 967 habitants. Cette wilaya regroupe depuis la fin des années 1970, toutes les origines et représente la totalité des communautés de ce pays. [1]

La wilaya est située dans la partie Sud-Est du pays, à 780 km de la capitale Alger : [1]

- ✓ Altitude : 134m ;
- ✓ Latitude : 31°57 N ;
- ✓ Longitude : 5°20 E.

Elle est limitée : [1]

- ♣ Au Nord, par les wilayas de Djelfa, Biskra et El Oued ;
- ♣ Au Sud, par Illizi et Tamanrasset ;
- ♣ A l'Est, par la Tunisie, sur 500 km ;
- ♣ A l'Ouest, par Ghardaïa.



(Figure I.1) : Carte géographique représentant les wilayas de l'Algérie. [24]

I.2.2 Aspect Administratif :

La wilaya d'Ouargla compte actuellement 21 communes regroupées en 10 Daïras selon la répartition suivante : [2]

(Tableau I.1): les communes et les daïras de la wilaya d'Ouargla. [2]

Daïras	Communes
OUARGLA	Ouargla, Rouissat
N'GOUSSA	N'goussa
SIDI-KHOULED	Sidi-khouiled, Aïn-Beïda, Hassi-Ben Abdallah
HASSI-MESSAOUD	Hassi-Messaoud
EL-BORMA	El-Borma
EL-HADJIRA	El-Hadjira, El-Alia
TEMACINE	Temacine, Blidet-Amor
TOUGGOURT	Touggourt, Nezla, Tebesbest, ZaouiaEl-Abidia
MEGGARINE	Meggarine, Sidi-Slimane
TAIBET Taïbet	Bennaceur, M'nogueur

I.2.3 topographie de la région :

La région est caractérisée par un sol plat et aride avec des dunes de sable et quelques oasis de palmiers qui ont une superficie de 8535 hectares. Elle se caractérise également par des pentes faibles ou la hauteur de la zone la plus basse atteint environ 101 mètres, alors que la hauteur maximale du point est d'environ 162 mètres au niveau de la mer. [3]

I.2.4 Hydrogéologie de la région :

Le réseau hydrique souterrain de la cuvette d'Ouargla est très important ou l'on distingue trois niveaux aquifères, la nappe phréatique, le complexe terminal et la nappe albienne.

I.2.4.1. Nappe phréatique : Elle est contenue dans des sables alluviaux de la vallée en suivant la pente de cette dernière, sa profondeur varie de 1 à 8 m.

I.2.4.2. Nappe terminal : Le complexe terminal est caractérisé par deux types de nappe, la nappe mio- pliocène et la nappe du sénonien-éocène.

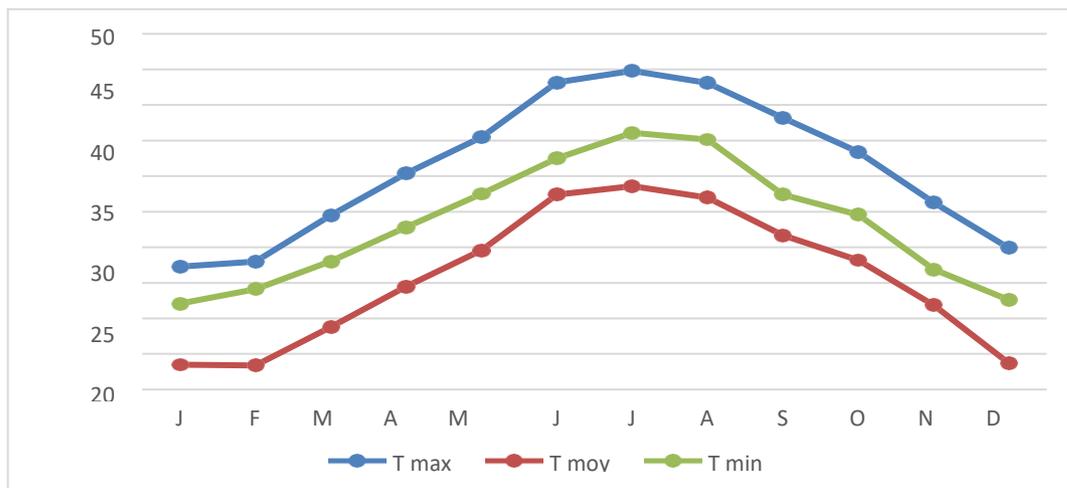
I.2.4.3. Nappe albienne : Cette nappe est contenue dans les argiles sableuses et les grés du continental intercalaire, située entre 1120m et 1380 m.

I.2.5 Climat de la région :

L'étude du climat de la région d'Ouargla comprend les facteurs climatiques de la région d'étude (température, précipitation, humidité, insolation...etc. [3]

I.2.5.1 température :

Les régions du sud de notre pays sont caractérisées par une température très rude en été et très froide en hiver, avec un écart de température entre le jour et la nuit qui peut atteindre de 20°C, ce qui induit un gradient thermique très important. [3]

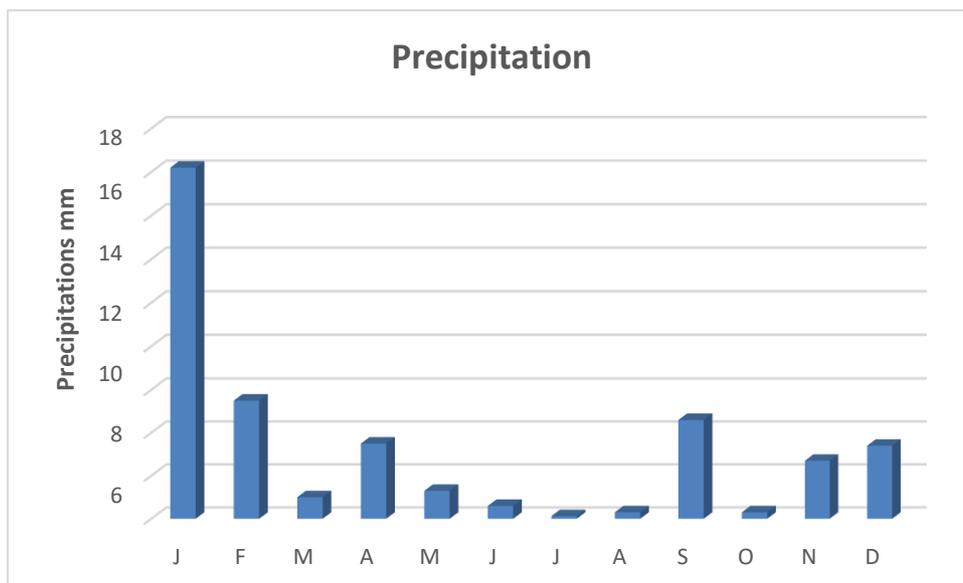


(Figure I.2) : Température mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014). [25]

La région d'Ouargla présente une température moyenne annuelle de 23 à 32. Le mois le plus chaud est Juillet avec une température moyenne de 44.8 et le plus froid est le mois de Janvier avec une température moyenne de 12.1. Il faut noter que l'amplitude thermique est très importante, et pour diminuer cette amplitude et atteindre le confort thermique, il faut utiliser des matériaux de constructions de bonnes caractéristiques thermiques. [3]

I.2.5.2 précipitation :

Les précipitations sont marquées par leur caractère faible et irrégulier, comme dans la majeure partie des régions sahariennes. [3]

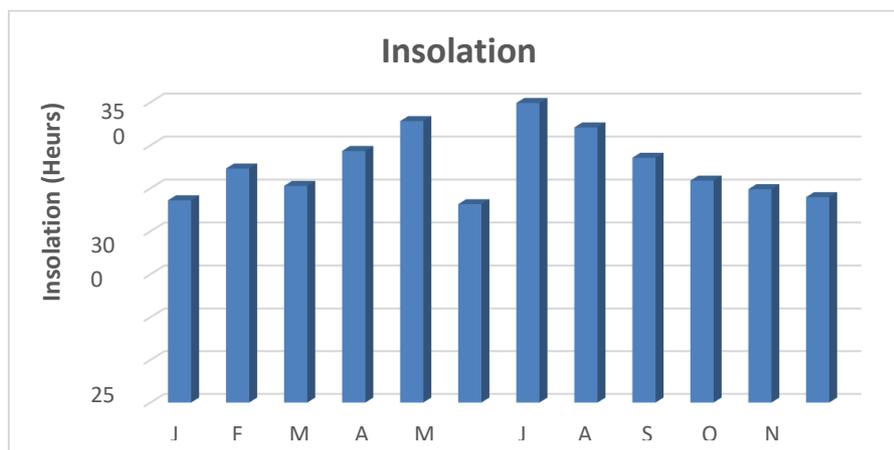


(Figure I.3) : La précipitation mensuelle moyenne de la région d’Ouargla (2004-2014). [25]

La moyenne annuelle des précipitations est de 38,23 mm avec un maximum de 16,2 mm en Janvier et un minimum de 0,12 mm en Juillet. [3]

I.2.5.3 insolation :

Les radiations solaires sont très importantes au Sahara car l’atmosphère présente une Grande pureté durant l’année. [3]

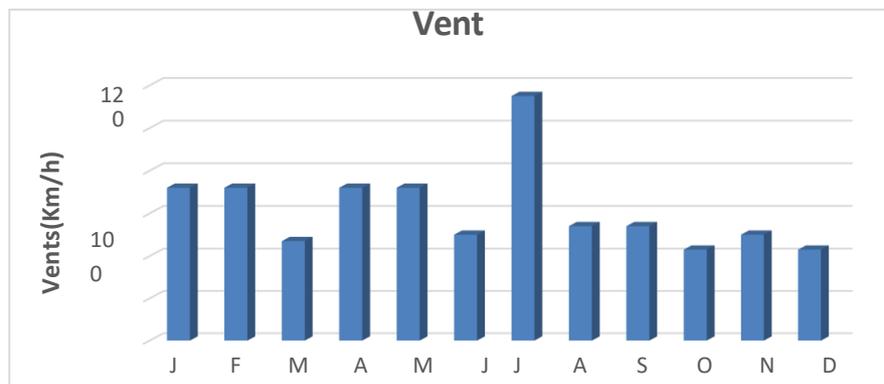


(Figure I.4) : Durée mensuelle moyenne d’insolation de la région d’Ouargla (2004-2014). [25]

A Ouargla la durée maximale d'insolation est de 11,26 heures/jour au mois de Juillet, et un minimum de 8 heures/jour au mois de Janvier. La moyenne annuelle est de 8heurs/jour.

I.2.5.4 vents :

Les régions de sud sont caractérisées par des vents forts, surtout au printemps et en été. [3]

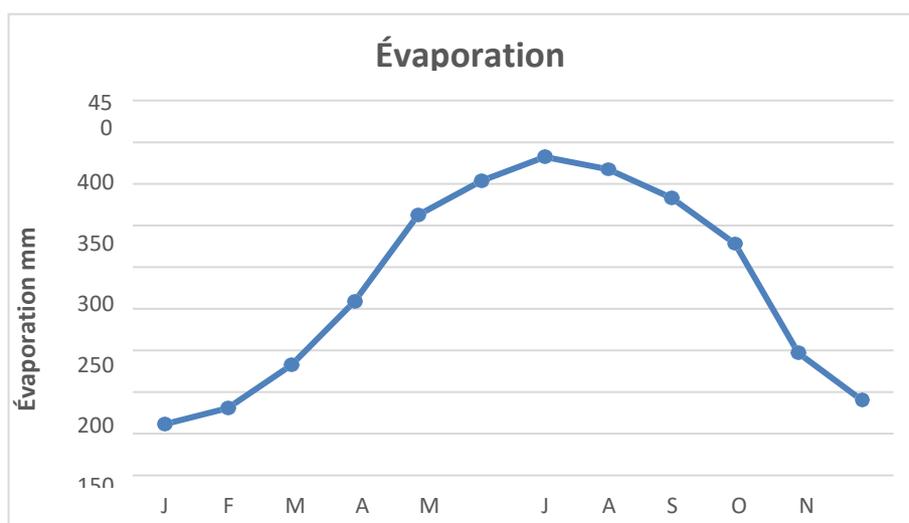


(Figure I.5) : vent mensuel moyen de la région d'Ouargla (2004-2014). [25]

A partir de la figure I.6, on remarque que le vent prend la plus grande valeur au mois de juillet, environ de 120 km/h.

I.2.5.5. évaporation :

L'évaporation est très importante, surtout durant la période chaude à cause de l'augmentation des températures. [3]

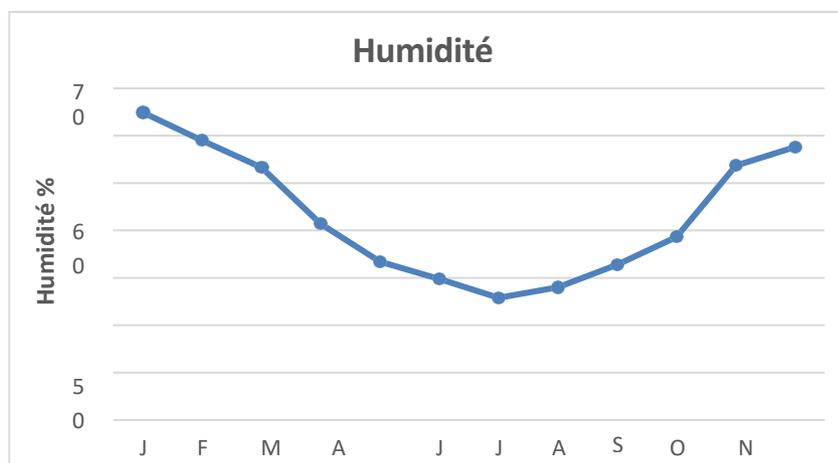


(Figure I.6) : évaporation mensuelle moyenne de la région d'Ouargla. [25]

A partir de figure I.7 la valeur maximale énergétique est de 382,3 mm au mois d'Aout, alors que le minimum enregistré est de 61,6 mm en Septembre. La moyenne annuelle est à l'ordre de 288,11 mm

I.2.5.6. humidité :

L'humidité agit sur la densité des populations en provoquant une diminution du nombre d'individus. [3]



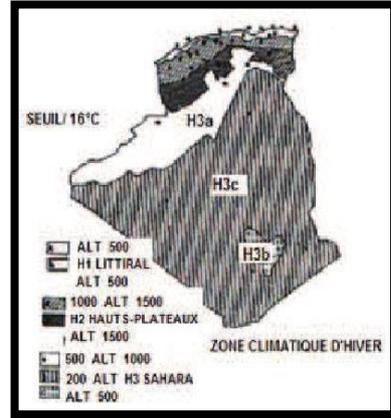
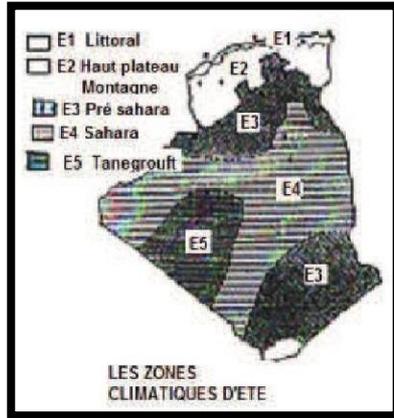
(Figure I.7) : humidité mensuelle moyenne de la région d'Ouargla (2004-2014). [25]

L'humidité moyenne annuelle est de 44,52% dont le maximum étant de 64,9% au mois de Janvier et le minimum au mois de Juillet 25,8%.

I.2.5.7. classification climatique :

Les zones sont classées selon les facteurs climatiques, donc on peut classer la zone d'Ouargla :

Comme une zone chaude et sèche en été, froide et sèche en hiver. [3]



(Figure I.8) : les zones climatiques en Algérie. [25]

Selon la figure (I.8) on peut classer (la ville objet de l'étude dans la zone climatique d'hiver H3c et la zone climatique d'été E4).

2EME PARTIE : I.3 INFRASTRUCTURE DE BASE [2]

La wilaya d'Ouargla dispose d'atouts importants dans les domaines des infrastructures économiques et des équipements structurants, la mettant en position idéale pour un véritable essor économique.

I.3.1 Réseau Ferroviaire :

- Linéaire de 33 km
- Gare ferroviaire à Touggourt, la photo (I.1) ci-après montre une partie du chemin de fer entre Touggourt et Djamâa:



(Photo I.1) : chemin de fer entre Touggourt et Biskra [26]

I.3.2 Réseau aéroportuaire :

Le réseau aéroportuaire d'Ouargla est assez important comptant 4 Aéroports : Ain El Beida, Hassi-Messaoud, Touggourt et El-Borma (non classé).



(Photo I.2) : aéroport Krim Belkacem- Hassi Messaoud –Ouargla. [1]

I.3.3 Réseau routier : Le réseau routier dans cette wilaya est de 1485 Km de routes nationales, 366 Km de chemins de wilaya et 235 Km de chemins communaux.



(Photo I.3): route RN3 entre Ouargla et Touggourt [26]

CONCLUSION :

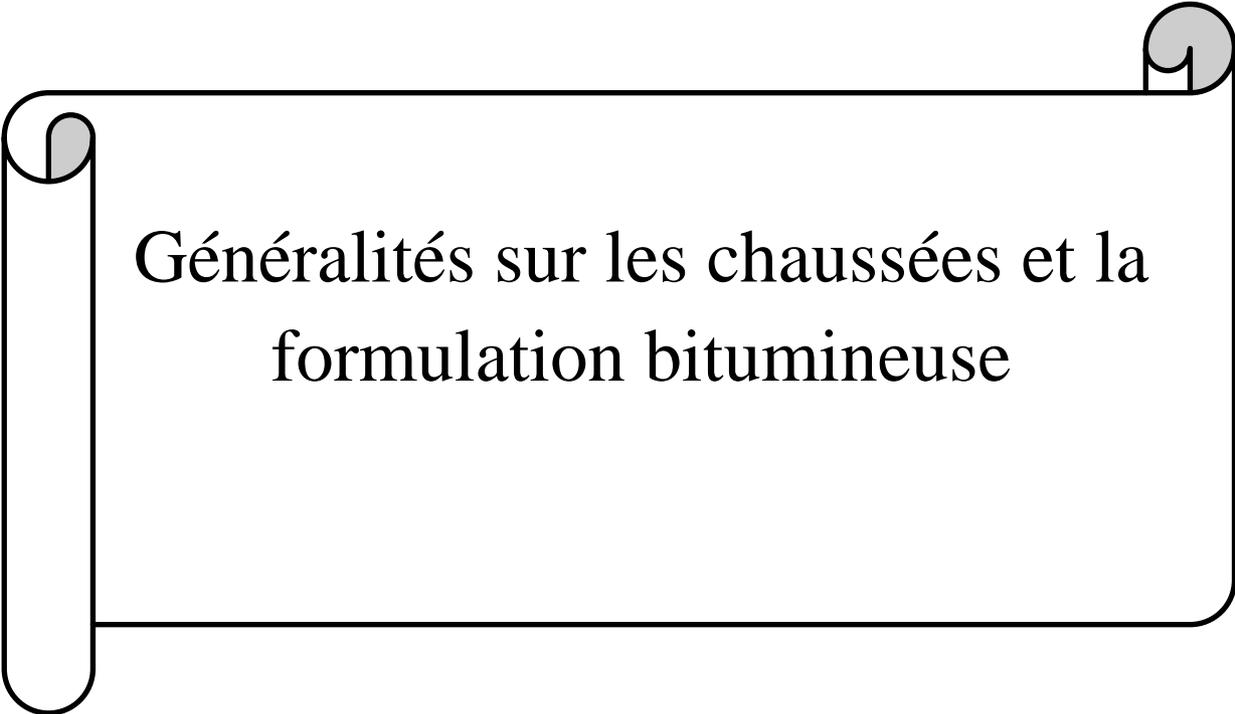
La wilaya de Ouargla s'étale sur un large territoire, et se positionne idéalement au centre de la région programme Sud/Est. Elle occupe la frange la plus au centre du Sahara dont elle constitue l'un des plus importants maillons.

La région d'Ouargla est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.

Le réseau routier à Ouargla, ayant un linéaire tout type confondu d'environ 2090 Km, joue un rôle essentiel pour la relance économique en Algérie vu les potentialités humaines, énergétiques, agricoles et la richesse culturelle qu'elle regroupe, l'attention qu'il faut donner au réseau routier est d'une importance cruciale dans notre domaine et vu l'agressivité du climat en cette zone (sec et très chaud en été, et très froid en hiver), il est de rigueur d'accorder l'importance appropriée à

l'étude des pathologie dues à l'effet du gradient thermique assez élevé connu dans la région sur la durabilité de nos routes dans cette partie du pays.

Chapitre 02 :



Généralités sur les chaussées et la
formulation bitumineuse

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES

II.1. LA STRUCTURE DES CHAUSSEES ROUTIERES

II.1.1. INTRODUCTION :

Chaque type d'enrobé est définie : premièrement par sa nature et le dosage de ses composants, deuxièmement par ses performances particulières et troisièmement par la couche de la chaussée à laquelle il est destiné.

Dans le présent chapitre, nous allons présenter des généralités sur les chaussées et leurs structures qui comprennent (les couches de surface et d'assise), ensuite nous définirons les enrobés bitumineux et leurs composants (bitume et granulats) avec les caractéristiques appropriées de chacun d'eux notamment ceux utilisés dans la couche de roulement.

Ensuite, nous étudions la formulation de l'enrobé en considérant les paramètres suivant : la teneur du bitume, la dureté du bitume et la grosseur des granulats, qui ont des influences sur la compacité, la mise en œuvre et la durabilité..., ainsi que les principaux essais de caractérisation selon les normes en vigueur afin d'obtenir un enrobé selon le choix désiré.

II.1.2. GENERALITE SUR LES CHAUSSEES :

La chaussée est la partie d'une voie de communication affectée à la circulation des véhicules elle assure les déplacements des usagers et le transport des marchandises.

Une chaussée est constituée d'une superposition de couches de matériaux différents dont l'ensemble est appelé superstructure et reposant sur une infrastructure. Dans l'infrastructure nous avons le sol de plate-forme et une couche de forme en cas de remblai, pour la superstructure nous avons la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface ou le revêtement. [4]

II.1.3. LA STRUCTURE DE CHAUSSEE :

II.1.3.1 couches de surface :

Une chaussée se présente sous la forme d'une structure multicouche **Figure (8)**, dont laquelle on peut distinguer deux niveaux distincts.

II.1.3.1.1 Couches de roulement :

La couche de roulement est la couche supérieure de la structure routière sur laquelle s'exerce directement les agressions conjuguées du trafic et du climat. [5]

II.1.3.1.2 Couches de liaison :

Les diverses couches d'une chaussée doivent fonctionner comme un ensemble monolithique. [6]

- Couche d'imprégnation et couche d'accrochage : [6]

Les couches d'imprégnation unissent les matériaux granulaires à la couche de base enrobés.

Les couches d'accrochage unissent les couches d'enrobés entre elles.

- Produits :

Il existe trois grandes familles de produits : le bitume; le bitume fluidifié et l'émulsion de bitume.

II.1.3.2 Couches d'assise : [7]

Les couches d'assise sont illustrées sur la figure (II.1) et sont décrites comme ce suit :

II.1.3.2.1. Couche de base :

C'est la couche située sous la couche de surface, son rôle est d'assurer la distribution des charges et de réduire les réactions dynamiques.

II.1.3.2.2. Couche de fondation :

C'est la couche située sous la couche de base, destinée à répartir les efforts dus aux charges verticales sur le sol de fondation et à former le support du revêtement. Elle assure avec la couche de base la protection thermique de la plate-forme.

II.1.3.2.3. Accotement :

C'est la plate-forme contiguë à la chaussée, renforcée ou non pour permettre l'immobilisation des véhicules.

II.1.3.2.4. Fossé :

C'est une partie de la route formant une tranchée ouverte dans le terrain servant à la récolte et l'évacuation des eaux de surface.

II.1.3.2.5 Couche de forme :

Elle est constituée de matériaux sélectionnés, de matériaux rapportés (remblai) ou réalisée par un traitement spécial destiné à améliorer les caractéristiques du terrain.

II.1.3.2.6 Fond de forme (sol support) :

C'est l'ensemble des matériaux en place, existant avant les terrassements ou à défaut du déblai, qui est l'ensemble des matériaux en place obtenu après excavation.

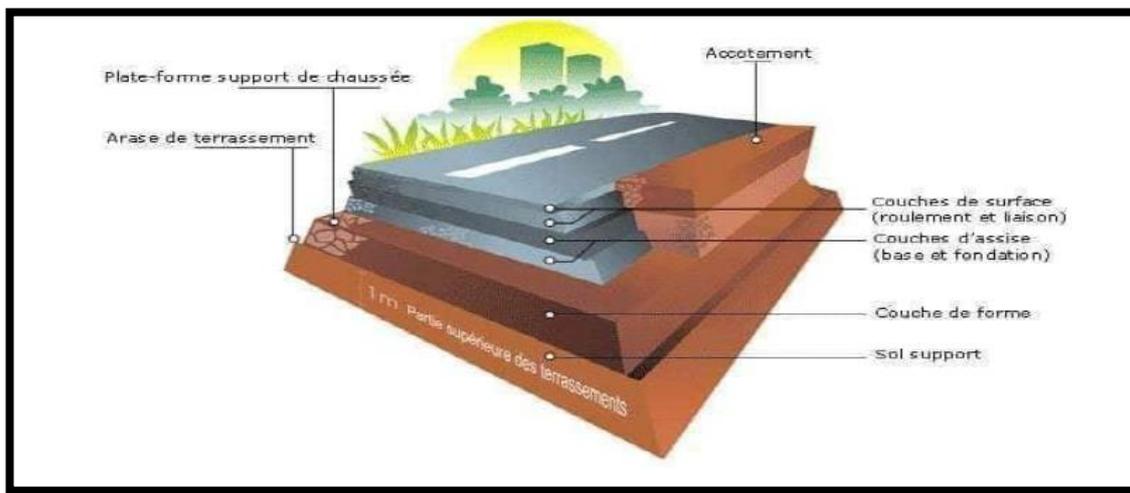


Figure (II.1) : Coupe transversale schématique de la chaussée [12]

II.1.4 TYPES DE CHAUSSEES : [7]

A l'image du réseau routier français, le réseau routier Algérien est caractérisé par une grande diversité de structures des chaussées que l'on peut regrouper en six grandes familles.

II.1.4.1 Chaussées souples :

Sont constituées d'une couche de fondation en grave non traitée et d'une couche de base bitumineuse d'épaisseur inférieure à 15 cm. La couche de surface est constituée d'une faible épaisseur de matériaux bitumineux parfois réduite à un simple enduit.

II.1.4.2 Chaussées bitumineuses épaisses :

Sont constituées de matériaux bitumineux en assise (fondation et base) d'épaisseur totale pouvant aller jusqu'à 40 cm, recouverts d'une couche de surface bitumineuse.

II.1.4.3 chaussée à assise traitée aux liants hydrauliques ou chaussés semi rigides :

Comportent, sous une couche de surface bitumineuse, des couches de base et de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (grave ciment, grave laitier, grave cendres volantes). L'assise a une épaisseur totale comprise entre 20 à 50 cm.

II.1.4.4. chaussées à structure mixte :

Présentent une couche de surface et une couche de base (de 10 à 20 cm) en matériaux bitumineux sur une couche de fondation (de 20 à 40 cm) traitée aux liants hydrauliques.

II.1.4.5 Chaussées à structure inverse :

Sont des chaussées à structure mixte dans lesquelles une couche de grave non traitée vient s'intercaler entre les couches bitumineuse et hydraulique.

II.1.4.6 Chaussées en béton de ciment :

Elles sont constituées par une couche de fondation en grave ciment (15 cm), surmontée par une dalle de béton de 25 cm d'épaisseur. Des joints transversaux et longitudinaux sont réalisés tous les 4 à 5 m pour éviter une fissuration anarchique du béton.

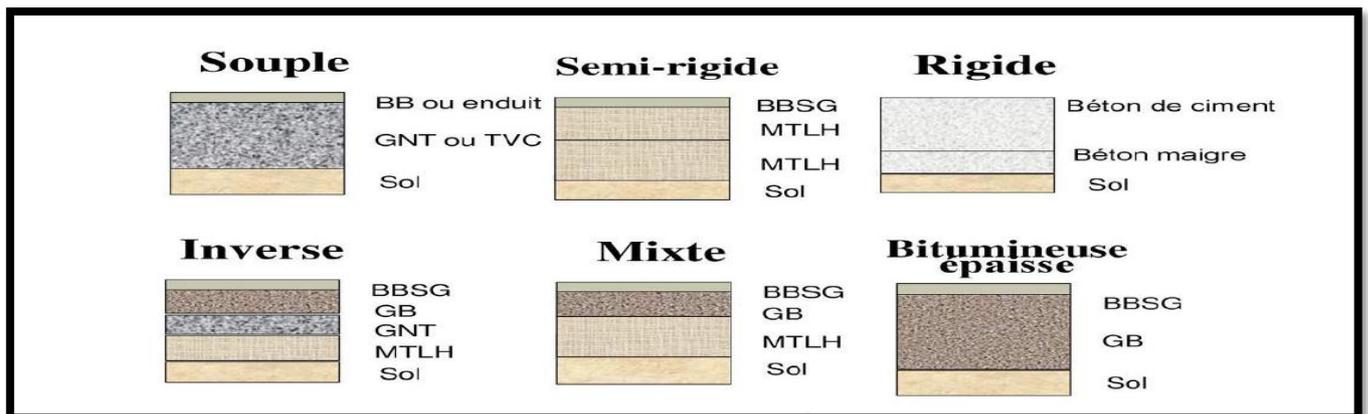


Figure (II.2) : Types des chaussées [13]

II.2 BETONS BITUMINEUX :

Béton bitumineux est un enrobé riche en bitume constitué d'un mélange de granulats (sable, gravier et fines), utilisé principalement pour les couches de roulement, c'est-à-dire pour les couches supérieures de la chaussée. Les bétons bitumineux se classent en fonction de leur granulométrie. Ils sont toujours posés sur une couche de base en matériaux hydrocarbonés ou traités au liant hydraulique ou sur une couche de liaison en enrobés pour les couches minces. [4]

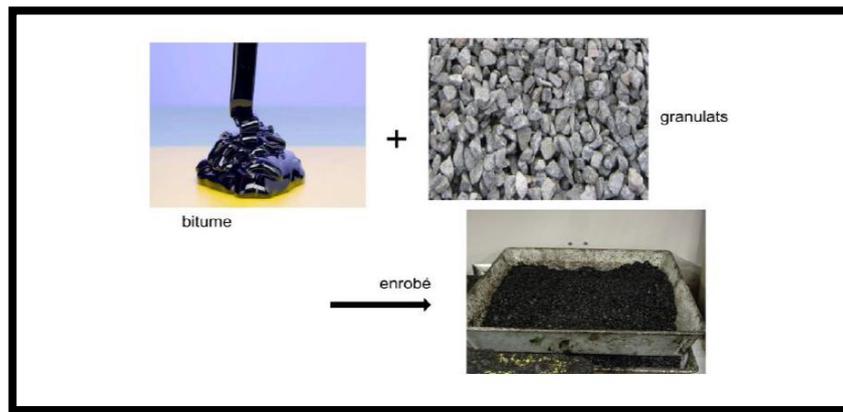


Figure (II.3) : Composition de béton bitumineux [4]

II.4. Composition de béton bitumineux :

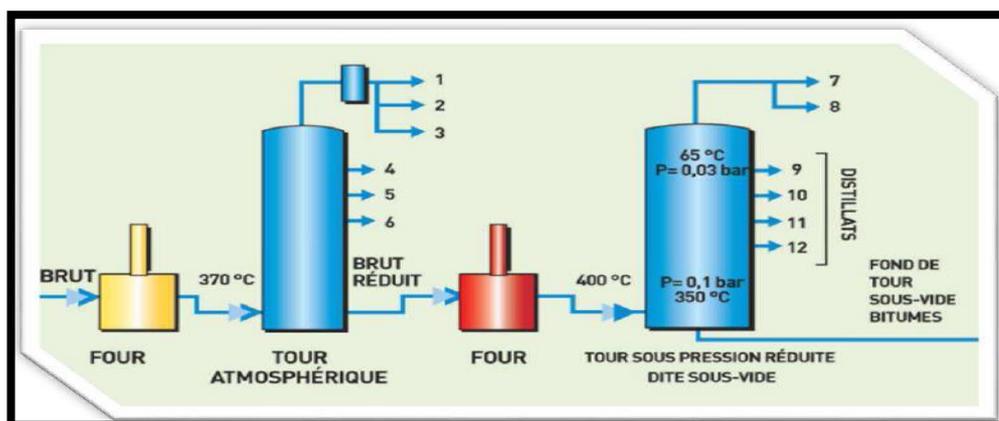
Le béton bitumineux est composé de différents éléments :

- Gravillons.
- Sable.
- Filer.
- bitume utilisé comme liant.

Le béton bitumineux crée généralement la couche supérieure des chaussées appelée couche de surface. [4]

II.4.1 Bitume :

Les bitumes sont des sous-produits d'hydrocarbures lourds, résidus noirs de pétrole brut obtenus soit par distillation naturelle, soit par distillation en raffinerie. Les bitumes de distillation directe sont utilisés pour la confection d'enrobés à chaud. [4]



- | | | |
|-------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1. Gaz | 5. Carburateur | 9. Gasoil sous -vide |
| 2. Essence légère | 6. Gasoil | 10. 1er Sous -vide |
| 3. Essence | 7. Vers éjecteurs de vapeur | 11. 2e Sous -vide |
| 4. White-spirit | 8. Gasoil entraîné | 12. 3e Sous -vide |

Figure (II.4). Fabrication des bitumes par raffinage du pétrole. [8]

Propriétés mécaniques et rhéologiques du bitume :

Le bitume confère à l'enrobé sa flexibilité et sa capacité à résister à certaines dégradations causées par plusieurs facteurs dont le trafic, les conditions climatiques du site, etc. A température de service élevée, le bitume doit demeurer suffisamment visqueux afin d'éviter que ne se produise le phénomène d'orniérage. A l'opposé, à basse température, le bitume doit conserver une certaine élasticité pour éviter le phénomène de fissuration par retrait thermique et la fragilisation de l'enrobé. Aux températures intermédiaires, il doit être résistant à la fatigue sous l'effet du trafic répété. [9]

Essais de caractérisation des bitumes :

- Essai de pénétrabilité à l'aiguille (NF T66 – 004) :

- Définition

La pénétrabilité est exprimée étant la profondeur, en dixième de millimètre, correspondant à la pénétration verticale d'une aiguille de référence dans un échantillon d'essai du matériau, dans des conditions prescrites de température, de charge et de durée d'application de la charge.

- Principe d'essai :

Mesurer la pénétration d'une aiguille de référence dans l'échantillon d'essai conditionné (bitume). Les conditions opératoires qui s'appliquent aux pénétrations inférieures ou égales à (500 x 0,1mm), sont : Température 25 °C, Charge appliquée 100g, Durée d'application de la charge 5s. Pour les pénétrations supérieures à cette limite, la température d'essai doit être de 15 °C, alors que la charge appliquée et sa durée d'application restent inchangées.

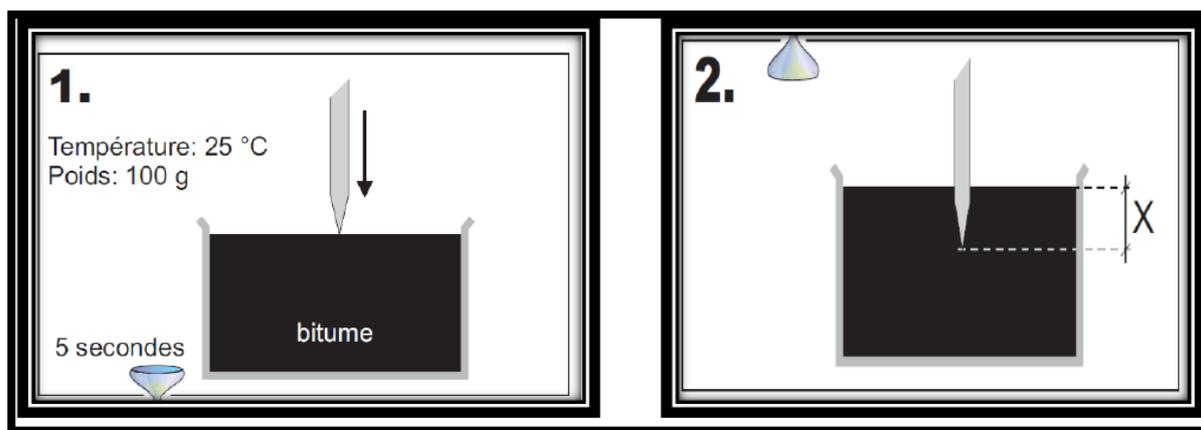


Figure (II.5) : Principe de l'essai de pénétrabilité. [14]

Essai de point de ramollissement bille et anneau (NF T66 – 008) :

- Définition

Température de ramollissement c'est à laquelle le matériau dans les conditions de référence de l'essai atteint une certaine consistance. Donc cet essai concerne à déterminer la température du ramollissement des bitumes et des liants bitumineux, dans la plage des températures de 30 °C à 200 °C.

- Principe d'essai :

Deux disques horizontaux de bitume, moulés dans des anneaux de laiton à épaulement, sont chauffés dans un bain liquide avec un taux d'élévation de la température contrôlé, alors que chacun soutient une bille d'acier. La température de ramollissement notée doit correspondre à la moyenne des températures auxquelles les deux disques se ramollissent suffisamment pour permettre à chaque bille, enveloppée de liant bitumineux, de descendre d'une hauteur de 25mm.

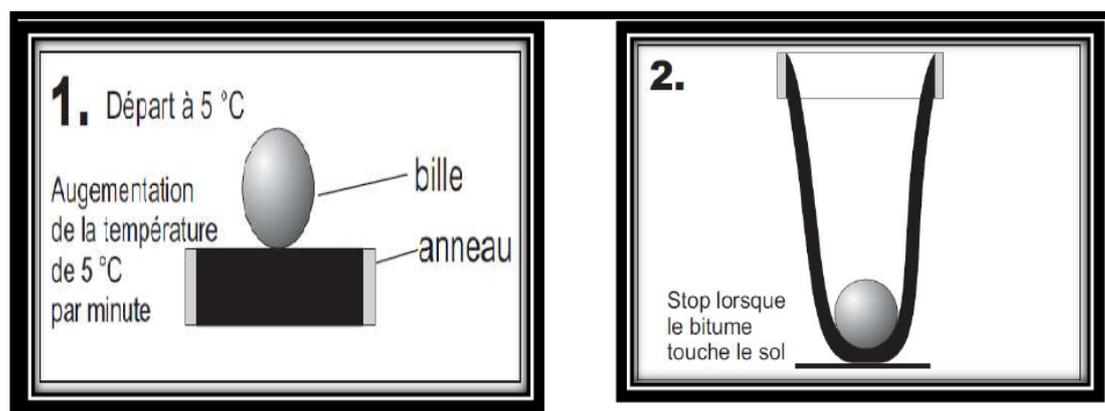


Figure (II.6): Principe de ramollissement. [14]

II.4.2 Granulat

Les granulats proviennent de carrières où les roches massives sont concassées, ou bien sont d'origine alluvionnaire. [8]

Les granulats sont répartis en différentes classes granulaires normées qui sont définies par le diamètre minimal et le diamètre maximal du granulat.

L'intégration des granulats dans le mélange bitumineux nécessite de connaître différentes caractéristiques :

- Celles qui tiennent à la nature de la roche d'origine (dureté, résistance au polissage, résistance aux chocs).

- Celles qui résultent de la fabrication des granulats (propreté, forme, granularité, angularité, homogénéité).

En outre les essais mécaniques permettent d'établir un classement selon :

- La résistance à la fragmentation par les essais Los Angeles.

- La résistance à l'usure et à l'attrition par l'essai Micro -Deval humide. [8]

II.6. FORMULATION DES BETONS BITUMINEUX :

Formuler un enrobé hydrocarboné est déterminer le meilleur mélange de granulats de diverses dimensions et d'un liant (le bitume) permettant d'atteindre des performances visées : imperméabilité, rugosité, résistance mécanique (à l'orniérage et la fatigue). Donc l'objectif de formulation est de déterminer un mélange de différentes classes granulaires qui constitue un squelette granulaire ayant un pourcentage de vides ni trop faible ni trop élevé. Un faible pourcentage de vide empêche l'introduction d'une quantité du liant suffisante pour enrober l'ensemble des grains sans saturer le mélange, et un pourcentage de vides élevé favorise le développement des déformations permanentes par post-compaction. [10]

Une étude de formulation d'un enrobé bitumineux comporte deux phases principales, à savoir la composition granulométrique et le dosage en liant optimale à l'aide des résultats de l'essai Marshall. [4]

II.7. PARAMETRES INFLUENÇANT LE CHOIX D'UNE FORMULATION :

Les principaux caractères consistent à choisir les granulats, le liant et les ajouts utilisés pour la fabrication de l'enrobé. Ceci sur la base des considérations suivantes : [11]

- Trafic ; volume, pourcentage de poids lourds, charge par essieu.

- climat : pluviométrie, gel-dégel, température, ensoleillement.

- position de la couche : roulement, base, fondation liée.

- fonction de la couche : adhérence, perméabilité, bruit, orniérage, etc...

- Méthodologie de formulation en Algérie :

La formulation en Algérie est basée sur la vérification des caractéristiques des composants ainsi que sur les essais Duriez et Marshall en fonction des matériaux granulaires.

On choisit une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné. Les fractions granulaires sont choisies parmi les suivantes : 0/3, 3/8, 8/15, les caractéristiques des granulats sont représentées comme suit : [4]

- Fuseau granulométrique :

Tableau (II.1) : Fractions granulaires 0/14 des BB

Passant Tamis (mm)	BB 0/14
20	/
14	94-100
10	72-84
6.3	50-66
2	28-40
0.08	7-10

- Déterminations de la teneur en bitume :

On appelle teneur en bitume la masse de liant sur la masse des granulats secs exprimé en pourcentage, pour cela on utilise la formule suivante : [10]

$$teneur\ en\ liant = \alpha \cdot k \sqrt{\Sigma 5}$$

Avec :

- **k** : module de richesse pouvant prendre les valeurs suivantes :
- 2 à 2,6 pour les graves bitumes (GB)
- 3,3 à 3,9 pour un béton bitumineux (BB)
- **α** : coefficient correcteur destiné à tenir compte de la masse volumique des granulats, d'où :

$$\alpha = 2,65 / MVRg$$

MVRg : Masses Volumiques réelles des agrégats

- **Σ** : Surface spécifique du granulat calculé par la formule :

$$100 \cdot \Sigma = 0,25 \cdot G + 2,3 \cdot S + 12 \cdot s + 135 \cdot f$$

Avec :

- **G** : pourcentage en poids des éléments de dimensions supérieur à 6,3 mm.
- **S** : pourcentage en poids des éléments de dimensions comprises entre 6,3 et 0,315 mm.
- **s** : pourcentage en poids des éléments de dimensions comprises entre 0,315 mm et

0,08 mm

- **f** : pourcentage en poids des éléments de dimensions inférieurs à 0,08 mm.

II.8. LA COMPACTITE

La compacité "**C**" est une conséquence directe de la formulation : [10]

$$C = 100 - \% \text{ vides}$$

Pour ce calcul, il faut connaître la densité apparente de l'éprouvette, la densité du bitume, la densité de chacun des agrégats, les pourcentages en poids de chacun des constituants rapportés à 100 (liant et filler compris).

Soit :

- γ_{app} : la densité apparente de l'éprouvette.
- γ_b : la densité du bitume.
- γ_{G1} : la densité de l'agrégat 1.
- $\gamma_{G2}, \gamma_{G3}, \dots$ celles des agrégats 2, 3...etc.
- P_b : le pourcentage en poids du bitume.
- $P_{G1}, P_{G2}, P_{G3} \dots$ ceux des agrégats.

Donc la densité réelle γ_{rel} du matériau enrobé est :

$$\gamma_{rel} = 100 / (P_b \gamma_b) + (P_{G1} \gamma_{G1}) + (P_{G2} \gamma_{G2}) + \dots$$

Le pourcentage volumétrique des vides V_v de l'éprouvette est :

$$V_v = 100(\gamma_{rel} - \gamma_{app}) / \gamma_{rel}$$

La compacité **C** : $C = 100 - V_v$

II.9. Les propriétés mécaniques des bétons bitumineux : [4]

Pour connaître les propriétés mécaniques d'un enrobé bitumineux, on fait un essai ou le plus souvent une série d'essais normalisés.

II.9.1. Essai Marshall (NF P98-251-2)

L'essai Marshall est un essai destructif, effectué en laboratoire selon un mode opératoire bien précis L'essai permet de déterminer pour une température et une énergie de compactage données le "pourcentage de vides", la "stabilité" et le "fluage" dits Marshall d'un mélange hydrocarboné à chaud.

- Principe de l'essai :

L'essai consiste à compacter des éprouvettes d'enrobés par choc dans un moule cylindrique de 101,6 mm de diamètre à l'aide de chocs (cinquante coups par face) produits par la

chute d'une dame de poids normalisé tombant d'une hauteur bien définie selon un procédé opératoire déterminé, puis à les soumettre à un essai de compression suivant une génératrice dans des conditions bien définies. Sur les éprouvettes ainsi confectionnées, on détermine entre autre :

- La stabilité Marshall : C'est la résistance à l'écrasement de l'éprouvette à la température de 60°C.
- Le fluage Marshall : C'est l'affaissement de la même éprouvette au moment de la rupture.



Figure (II.7): Machine d'essai Marshall [15]

II.9.2 Essai Duriez (NF P98-251-1)

- Principe de l'essai :

Cet essai consiste à déterminer la résistance à la compression d'une éprouvette d'enrobé de poids et de section déterminés. Il permet également de définir la tenue en eau dans l'enrobé à partir du rapport des résistances à la compression après et avant immersion de l'éprouvette dans un bain d'eau thermostatique.

L'essai Duriez diffère de l'essai Marshall par deux caractéristiques importantes :

- Température de l'essai, qui est de 18°C au lieu de 60°C dans l'essai Marshall.
- Mode d'application de la contrainte, qui est diamétrale dans l'essai Marshall, elle est axiale dans l'essai Duriez.



Figure (II.8) : Machine d'essai Duriez [16]

CONCLUSION :

L'analyse des paragraphes précédents, a permis de définir les différentes parties qui constituent les chaussées et leurs types.

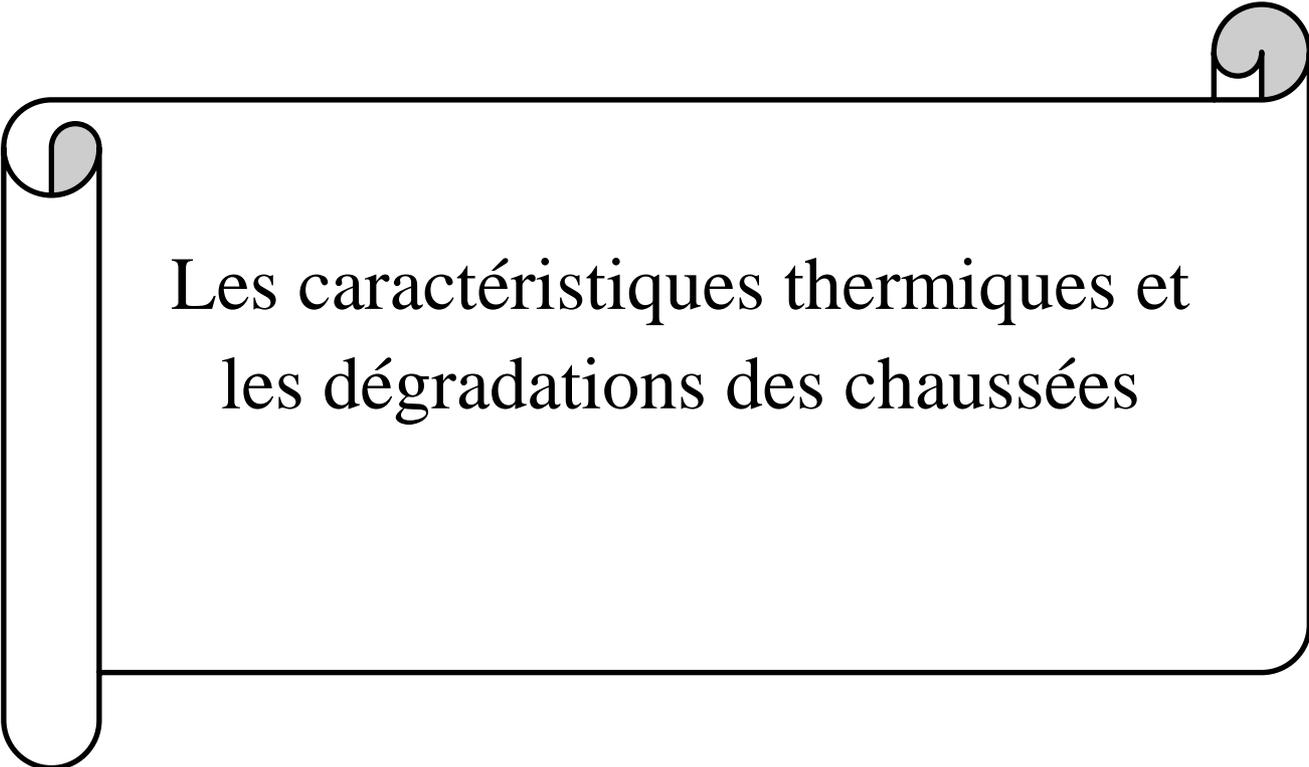
Comme nous avons vu précédemment, le béton bitumineux est constitué de deux éléments principaux, les granulats et le bitume. La liaison entre ces deux composants est très complexe et pour formuler un enrobé convenable plusieurs critères sont à prendre en considération telle que le trafic, les conditions climatiques et les matériaux existants...etc.

Le mélange bitume-agrégat obtenu doit avoir :

1. Suffisamment de bitume pour donner un pavage durable.
2. Une stabilité suffisante pour satisfaire les exigences de trafic.
3. Suffisamment de vides pour pallier aux phénomènes d'expansion liés aux propriétés spécifiques du bitume (dilatation thermique).
4. Une maniabilité suffisante pour permettre une mise en place efficace du mélange.

Par ailleurs les essais de caractérisation et de contrôle des bétons bitumineux nécessitent du matériel spécifique et une technicité propre, surtout dans les régions où les conditions d'exploitation sont particulièrement sévères (à l'exemple des régions sahariennes : trafic intense des poids lourds et température élevée).

Chapitre 03 :



Les caractéristiques thermiques et
les dégradations des chaussées

Chapitre 03: Propriétés thermiques des matériaux et les dégradations des chaussures souples

III.1 INTRODUCTION:

Les propriétés thermiques des matériaux sont des grandeurs qui caractérisent le comportement des matériaux en présence d'un ou plusieurs types d'échange thermique.

Elles expriment le comportement du matériau soumis aux transferts stationnaires: conductivité thermique, résistance thermique, émissivité, ou des transferts dynamiques: diffusivité thermique et effusivité thermique.

Les propriétés régissant les transferts par conduction et convection sont aussi appelées

« Propriétés de transport » car elles sont liées à l'agitation des atomes et des molécules du milieu qui « transportent » la chaleur.

Les propriétés thermiques se rapportent aussi à la capacité du matériau à absorber de l'énergie thermique. Cette énergie thermique peut être absorbée pour élever la température du matériau ou pour le transformer (changement des propriétés physiques ou d'état du matériau): capacité thermique, enthalpie de fusion (ou autre transformation), coefficient de dilatation thermique...

Toutes les propriétés thermiques des matériaux sont dépendantes de la nature du corps et de sa température. La mesure de ces propriétés est donc indissociable de la mesure de la température et de la connaissance de la nature du matériau (au moins de la connaissance de son caractère homogène et isotrope). Les valeurs de chaque propriété sont donc affichées en donnant la nature du matériau et la température de mesure ou la relation de la grandeur en fonction de la température. [17]

III.2 PROPRIETES THERMIQUES :

D'un point de vue thermique, un matériau est caractérisé par sa conductivité, sa capacité thermique et sa diffusivité thermique.

III.2.1 Conductivité thermique :

La conductivité thermique λ est la vitesse d'écoulement de la chaleur, au travers d'un corps, sous un gradient thermique unitaire (Figure 1.11). Elle est tirée directement de la loi de Fourier (relation 1.1).

$$\lambda = q / \text{grad}T \quad [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}] \quad (1.1)$$

Avec :

q le flux de chaleur [$W \cdot m^{-2}$],

T la température [K],

$\text{grad}T = \Delta T/e = (T_1 - T_2)/e$ [$K \cdot m^{-1}$].

On parle ici de "conductivité", car le transfert de chaleur s'effectue principalement au moyen de la conduction. Toutefois, les autres moyens de transfert que nous avons présentés dans la section 1.4.1, peuvent contribuer à la mesure de la conductivité thermique. Une mesure de conductivité correspond donc à la moyenne des conductivités locales se trouvant le long de la section considérée. Autrement dit, il s'agit plus d'une conductivité thermique effective dont la valeur varie dépendamment de la variation de la température et de la composition du sol dans la section. [17]

La température est également un paramètre important qui a une influence sur la conductivité thermique d'un sol. A une teneur en glace donnée, la conductivité thermique d'un sol gelé peut varier en fonction de la distribution de la glace dans le sol. [19]

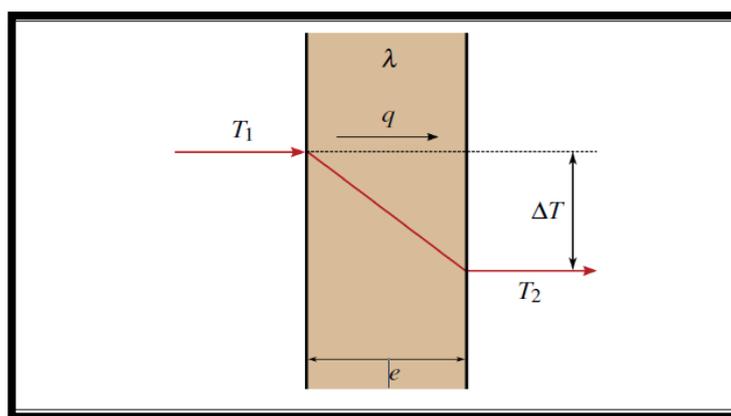


Figure (III.1) Définition de la conductivité thermique.[19]

III.2.2 Capacité thermique : [17]

La capacité thermique massique c [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$] ou volumique C [$J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}$] ($C = c \cdot \rho$) est la quantité d'énergie nécessaire à fournir à un corps pour élever 1 kg (respectivement 1 m³)

de ce corps de 1 K. Cette propriété nous renseigne sur la capacité d'un corps à absorber ou restituer de l'énergie par échange thermique impliquant une variation de température. Plus la capacité thermique d'un corps est grande, plus grande sera la quantité d'énergie échangée au cours d'une transformation s'accompagnant d'une variation de la température de ce corps.

On désigne souvent la capacité thermique du sol non gelé par C_u et celle d'un sol gelé par C_f . Connaissant la capacité thermique massique du sol sec c_s et de l'eau c_w ainsi que la teneur en eau (non gelée dans ce cas) w , il est possible d'évaluer la capacité thermique volumique du mélange non gelé par la simple relation (1.2) (Dysli (1991)) :

$$C_u = c_s \cdot \rho_d + w / 100 \cdot c_w \cdot \rho_d \quad [J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}] \quad (1.2)$$

III.2.3 Diffusivité thermique : [17]

Sous sa forme la plus générale, l'équation de la chaleur introduite initialement en 1811 par Jean Baptiste Joseph Fourier s'écrit :

$$\lambda \nabla \cdot (\nabla T) + \nabla \lambda \cdot \nabla T + P = \rho c \partial T / \partial t \quad (1.4)$$

Avec :

∇ = operateur nabra,

λ = conductivité thermique (W/ (m.K)),

T = champ de température (K ou °C),

ρ = masse volumique du milieu,

P = flux de chaleur crée par unité de volume,

c = capacité thermique massique $c [J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}]$,

III.3 TRANSFERT DE CHALEUR DANS LES MILIEUX POREUX : [17]

Les facteurs pouvant influencés les propriétés thermiques d'un sol sont nombreux. Une liste non exhaustive de ces différents paramètres est proposée ci-après (Farouki (1981)) :

- Porosité ;
- Arrangement structural ;
- Taille des grains et des pores ;
- Contact entre grains ;
- Effets volumétriques ;
- Mouvement d'eau ;
- Interaction sol/eau ;
- État de l'eau;
- Teneur en eau ;
- Température ;

-
- Présence d'ions, sels et autres solutés ;
 - Nature des matériaux.

III.4 LES DEGRADATIONS DES CHAUSSES: [19]

L'évaluation des chaussées repose sur une série de mesures et d'observations visuelles qui permettent d'établir la condition de la structure, de diagnostiquer les causes des dégradations apparentes et de cibler les solutions de réhabilitation les plus appropriées. Lorsqu'il s'agit de mesures telles que les caractéristiques géométriques ou physiques de la chaussée, il est plus facile de fixer des critères qui servent de base à l'évaluation et à la réhabilitation. Lorsqu'il s'agit d'observations visant à caractériser des dégradations de surface et l'état de la chaussée, l'établissement de tels critères devient plus difficile.

Afin de réduire cette difficulté, il est nécessaire de formaliser la caractérisation des défauts de surface des chaussées et d'en faire la synthèse dans un guide accessible au personnel concerné par cette activité

Dans cette partie on a essayé de donner quelque exemple de dégradations des chaussées qui ont une relation avec la température directement ou indirectement :

Fissures transversales :

C'est la rupture du revêtement perpendiculaire à la direction de la route, les majeures causes de cette dégradation sont le retrait thermique et le vieillissement et la fragilisation du bitume.

Fissures en piste de roues :

C'est une rupture en parallèle à la direction de la route et située dans les pistes des roues, la raison de son apparence est la fatigue du revêtement (trafic lourd) et le mauvais drainage des couches granulaires.

Fissures de gel :

C'est une rupture du revêtement générant une fissure active sous l'effet du gel, soit rectiligne et localisée au centre de la voie ou de la chaussée, causée par un remblai instable ou Infrastructure gélive et soulèvements différentiels.

Fissures en carrelage :

C'est une rupture du revêtement sur des superficies plus ou moins étendues, formant un patron de fissuration à petites mailles polygonales dont la dimension moyenne est de l'ordre de 300 mm

ou moins. Les principales causes de cette dégradation sont la fatigue, le vieillissement de la chaussée et la capacité portante insuffisante du sol support.

Affaissement :

C'est une distorsion du profil en bordure de la chaussée ou au voisinage de conduites souterraines. Les affaissements sont des conséquences de plusieurs facteurs suivants:

- Manque de support latéral et instabilité du remblai ;
- Présence de matériaux inadéquats ou mal compactés ;
- Zone de déblai argileux ou secteurs marécageux.

Ressuage :

Remontée de bitume à la surface du revêtement, accentuée dans les pistes de roues. Les causes probables de cette dégradation sont soit un surdosage du bitume ou bien un effet combiné de la température élevée du revêtement et des sollicitations du trafic.

Nid-de-poule :

Désagrégation localisée du revêtement sur toute son épaisseur formant des trous de forme généralement arrondie, au contour bien défini, de taille et de profondeur variables. Les trous peuvent être comblés par du rapiéçage temporaire. Les causes probables sont les suivantes :

- Faiblesse ponctuelle de la fondation. ·
- Épaisseur insuffisante du revêtement. ·
- Chaussée fortement sollicitée par le trafic lourd.

On distingue trois (03) niveaux de sévérité dans chaque type de dégradation, Faible ; Moyen et Majeur montrer dans les photos ci-dessus:



Figure (III.2) : Dégradations des chaussées par fissurations. [19]



Figure (III.3) : Dégradations des chaussées en faïençages. [19]

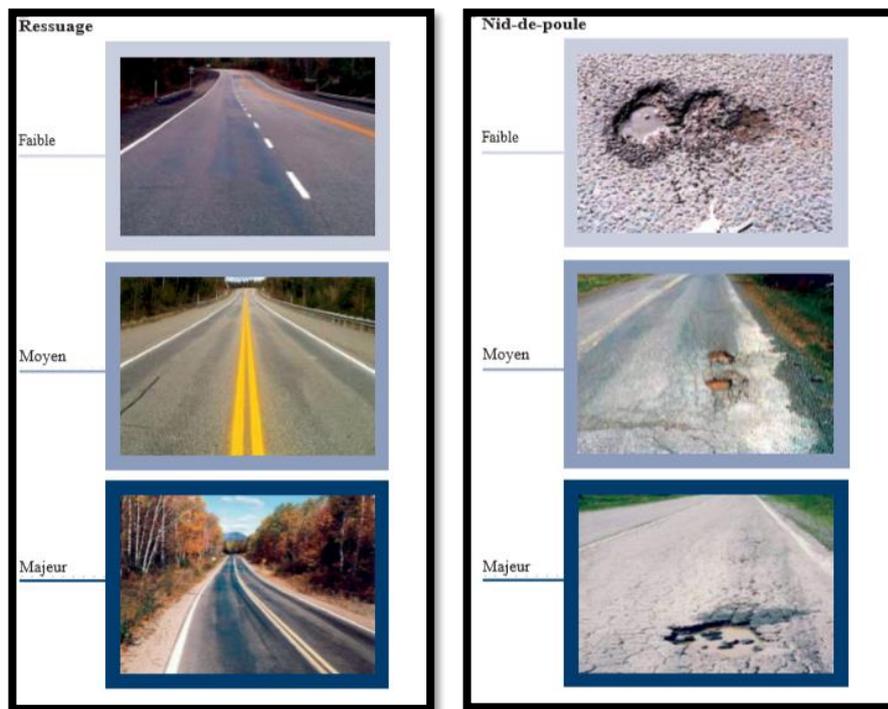


Figure (III.4) : Dégradations des chaussées en nids de poule. [19]

III.5.1 EFFET DE LA TEMPERATURE SUR LES CHAUSSEES SOUPLES :

La température est un facteur déterminant pour la conception des chaussées souples, et elle aussi un élément majeur qui peut affecter la durabilité de la chaussée à ce propos plusieurs études ont été menées afin d'évaluer l'effet de la température sur la durabilité des chaussées routières notamment dans les pays et zones ayant un climat assez aride et connaissant des variations de température assez élevée notamment au cours de la période estivale de l'année. En ce qui suit nous allons exposer les travaux menés par Hamad I. Al-abdul Wahhab et al., dans son article intitulé : "TEMPERATURE IMPACT ON PAVEMENT STRUCTURES IN HOT ARID ENVIRONMENT", [20]

Où ils rapportent dans leur article que: Fatani et al. (1994) dans un projet national intitulé: "Evaluation of Permanent Deformation of Asphalt Concrete Pavement in the Kingdom of Saudi Arabia (KSA)", ont testé différentes sections de chaussée pour la mesure de la température dans l'est, le centre et l'ouest de l'Arabie Saoudite. La température a été mesurée 24/24 heures à la surface et à des profondeurs de 2 cm, 4 cm, 8 cm, 16 cm et au bas des couches d'asphalte. Ils ont étudié l'effet de température de la chaussée en fonction de facteurs tels que la couverture nuageuse, la température de l'air et le rayonnement solaire. L'air est le facteur le plus important qui influe sur la température de la chaussée qui est directement affectée par la couverture nuageuse et le rayonnement solaire.

Une base de données contenant deux ans de températures de chaussée a été développée. Il a été observé que la température maximale enregistrée de la chaussée se produit à une profondeur de 2 cm de la surface de la chaussée, tandis que la température minimale de la chaussée est toujours enregistrée en surface.

Un modèle a été développé et calibré sur la base de leur étude pour prédire la température maximale de la chaussée à une profondeur de 2 cm et température minimale de la chaussée.

Le modèle prend en compte la température de l'air et le rayonnement solaire avec un degré élevé de

Précision.

Al-Abdul Wahhab et Balghunaim (1994) ont indiqué que les températures extrêmes des chaussées

dans l'environnement aride saoudien se situent entre 3 ° C et 72 ° C alors que pour les zones côtières elle est entre 4 ° C et 65 ° C pour les zones intérieures.

Bissada (1972) a présenté les résultats d'une étude sur les températures des chaussées en asphalte concernant au climat du Koweït. Il a conclu que la couche d'asphalte avait subi des températures extrêmes substantielles. Dans les 9 heures d'un jour d'été, à la surface, les températures des chaussées oscillent entre 32 et 74 ° C. Au cours de l'année, à la surface asphaltée, les températures oscillent entre un minimum moyen de 5 ° C et un maximum moyen de 74 ° C.

Potocki (1973) a réalisé une étude plus complète des températures des chaussées pour différentes sections de chaussées à Abu Dhabi et à Al-Ain aux Emirats Arabes Unis.

Ramadhan et Al-Abdul Wahhab (1997) ont rapporté leurs deux expériences sur le terrain pour la surveillance des variations de température du béton bitumineux et du ciment Portland chaussées en béton de l'Université King Fahd du pétrole et des minéraux (KFUPM) à Dhahran, Province orientale de l'Arabie saoudite. Une base de données de température a été développée et utilisé pour générer des modèles de régression pour prédire les températures dans les chaussées souples, et les écarts de température dans les chaussées rigides, à partir des températures de l'air mesurées. Pour ça étude, a enregistré des températures à 2 cm de profondeur dans la chaussée souple (PAV) avec le la température de l'air correspondante (AIR) a la relation suivante:

$$PAV = 1.692 * (T_{AIR}) + 12.670 \quad (2)$$

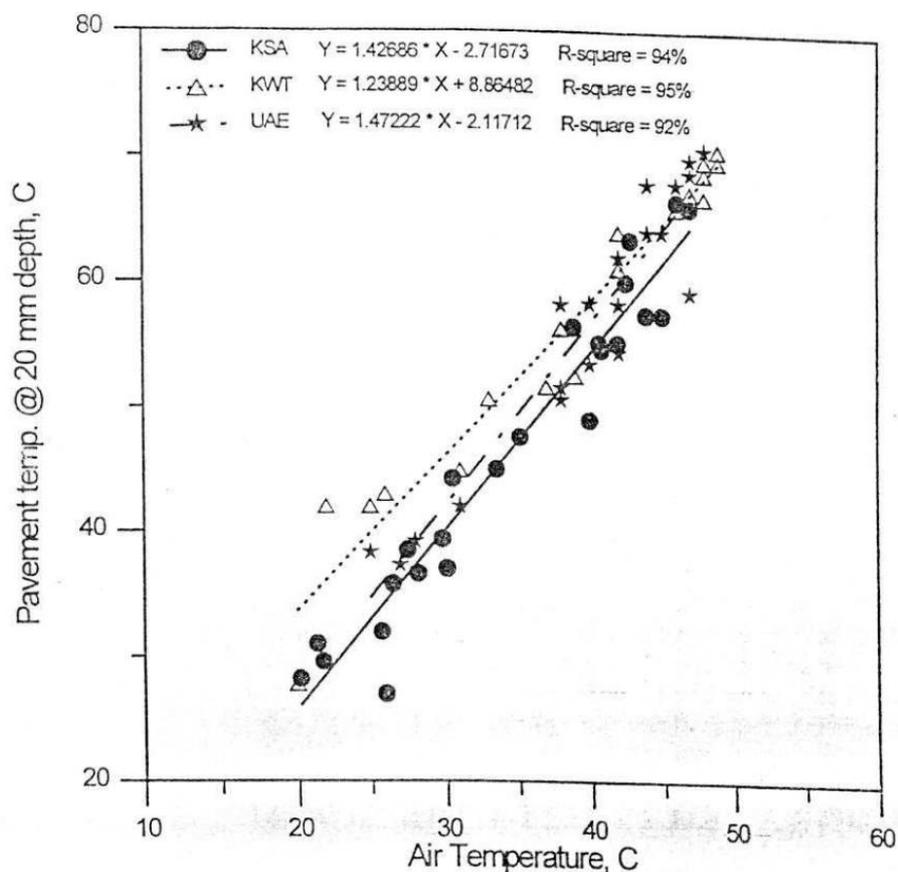
De même, la relation entre les écarts de températures moyennes (DIFF) et les températures de l'air correspondantes (AIR) sont obtenues et ont la forme suivante:

$$DIFF = 0,248 * (T_{AIR}) + 1,577 \quad (3)$$

III.5.2 EFFETS DE LA TEMPÉRATURE SUR LES CHAUSSÉES FLEXIBLES :

La température affecte la conception de la formulation de la chassée de deux manières; elle détermine d'abord la température à quel béton bitumineux est destiné doit être conçu et / ou évalué et ensuite elle indique la qualité d'asphalte qui fonctionne le mieux pour une zone de température et une charge de trafic données (Al-Abdul Wahhab et coll. 1996)

Dans toutes les études mentionnées ci-dessus, il a été observé que la température minimale de la chaussée est toujours enregistrée à la surface de la chaussée, ce qui correspond à la température de l'air la plus basse. La température maximale moyenne de conception de la chaussée sur sept jours consécutifs est mesurée à une profondeur de 20 mm dans la chaussée, comme recommandé par l'étude FHWA LTPP, La figure (III.5) montre la relation entre la température de l'air et la température enregistrée à une profondeur de 20 mm des chaussées pour l'Arabie saoudite, le Koweït et les Émirats arabes unis, comme indiqué dans les études ci-dessus. Cette relation a été utilisée par Al-Abdul Wahhab et al. (1996) pour prédire la température maximale moyenne de conception de la chaussée sur sept jours à partir de la température de l'air maximale moyenne calculée sur sept jours. La formule de régression développée pour le Koweït a été utilisée pour le Koweït; la formule KSA a été utilisée pour l'Arabie saoudite; et la formule des EAU a été utilisée pour les EAU et Oman.



**Figure (III.5) : relation entre la température de l'air et la température
enregistrée à une profondeur de 20 mm [20]**

Al-Abdul Wahhab et al. (1966) ont mené un projet de recherche pour l'adaptation des performances de SHRP à partir de ses spécifications dans les pays du Golfe. Dans leurs recherches, une étude approfondie des régimes de température dans les pays du Golfe a été réalisée. Vingt-huit stations météorologiques à travers le Royaume et les départements météorologiques des pays du Golfe ont été contactés pour collecter les données météorologiques disponibles. Une énorme quantité de données météorologiques (couvrant 26 ans) ont été reçues et analysées pour calculer la moyenne température de l'air maximale de sept jours et température de l'air minimale.

Étant donné que les températures des chaussées dans la plupart des pays du Golfe atteignent des valeurs supérieures à 64 ° C, l'adéquation de l'asphalte pur est limitée. Cela implique que la modification du polymère doit être utilisée dans une grande région des pays du Golfe. Pour les qualités limites inférieures, polymère modification a amélioré (abaissé) la limite pour certains échantillons mais a eu un effet négatif sur autres échantillons. Par conséquent, l'aptitude de tout polymère à modifier l'asphalte doit être vérifié avant utilisation selon les limites de température de la région. La procédure de conception de mélange Marshall (The Asphalt Institute 1984) est la seule procédure utilisée pour la conception de mélange de béton bitumineux local. Il s'agit d'une procédure de conception empirique qui ne mesure pas la résistance au cisaillement. Le mélange d'asphalte est conçu et évalué à une température de 50 ° C.

Sur la base de vastes travaux de terrain et de laboratoire menés localement, Hamad I. Al-abdul Wahhab et al., concluent et recommandent ce qui suit :

1. Températures extrêmes de la chaussée en asphalte dans la plage de l'environnement et saoudien entre -10 ° C et 73 ° C.
 2. Le liant asphaltique doit être sélectionné en fonction des températures extrêmes en vigueur.
- [20]

Les travaux menés par **Ahmed Ebrahim Abu El-Maaty** [21], dans son article intitulé « Temperature Change Implications for Flexible Pavement Performance and Life », sur l'effet des variations de températures sur les performances des chaussées ont montré que :

1. Les performances de la chaussée ont été considérablement affectées par changement de température. Comme prévu, le prédit déflexion (rut de la couche d'asphalte), déformation verticale

et le stress a augmenté sur la surface de la chaussée ainsi qu'à travers les couches en augmentant la température de la chaussée.

2. L'augmentation de la rigidité de la chaussée était caractéristique plus efficace que l'épaisseur des couches réduire la surface et la déformation et la déformation internes et en augmentant la résistance à la fatigue de la chaussée à des températures (23 ° C-50 ° C). Alors que, l'augmentation de

l'épaisseur de la chaussée (comme la section 7) était plus influente facteur de réduction des contraintes à travers les couches sous variation de température, augmentant la durée de vie de la chaussée à toutes les températures et en augmentant la résistance à la fatigue à des températures (5 ° C-23 ° C).

3. La durée de vie de la chaussée était régie par une rupture d'ornièrre à toutes les variations de température où les deux vies obtiennent plus proche du degré de congruence à plus épais et plus bas

section de rigidité. L'effet des dégâts a augmenté progressivement avec des températures croissantes et diminuant avec augmentation de l'épaisseur des couches au détriment de la rigidité.

4. Les sections de rigidité les plus épaisses et les plus faibles (comme les sec.7, 6 et 5) étaient les sections optimales pour fournir plus durée de vie de conception surtout aux températures les plus basses (5 ° C) comme dans le nord de l'Égypte. Après ça la vie période a diminué considérablement avec la température augmentant jusqu'à environ 20 ° C comme dans la partie centrale de l'Égypte.

Plus de 20 ° C de température, la chaussée design vit légèrement diminué jusqu'à 50 ° C comme dans le sud de l'Égypte.

Pour les sections plus fines et plus rigides, l'augmentation de la température n'était pas évidente effet sur la durée de vie de la chaussée où la durée de vie prévue, les périodes étaient très similaires pour toutes les températures.

Gschwendt I. & A. Zuzulová A., ont réalisé des essais sur des chaussées à fin de mesurer l'effet de variation de température en Bratislava à la République Slovaque, dans leur article intitulé " Climate conditions and their impact on road pavement design", où ils ont présenté la figures (III.6) qui représente les variations de températures à 5 niveaux de la chaussée à partir de la variation de la température extérieure journalière de la surface de la chaussée, représentant une période estivale. [22]

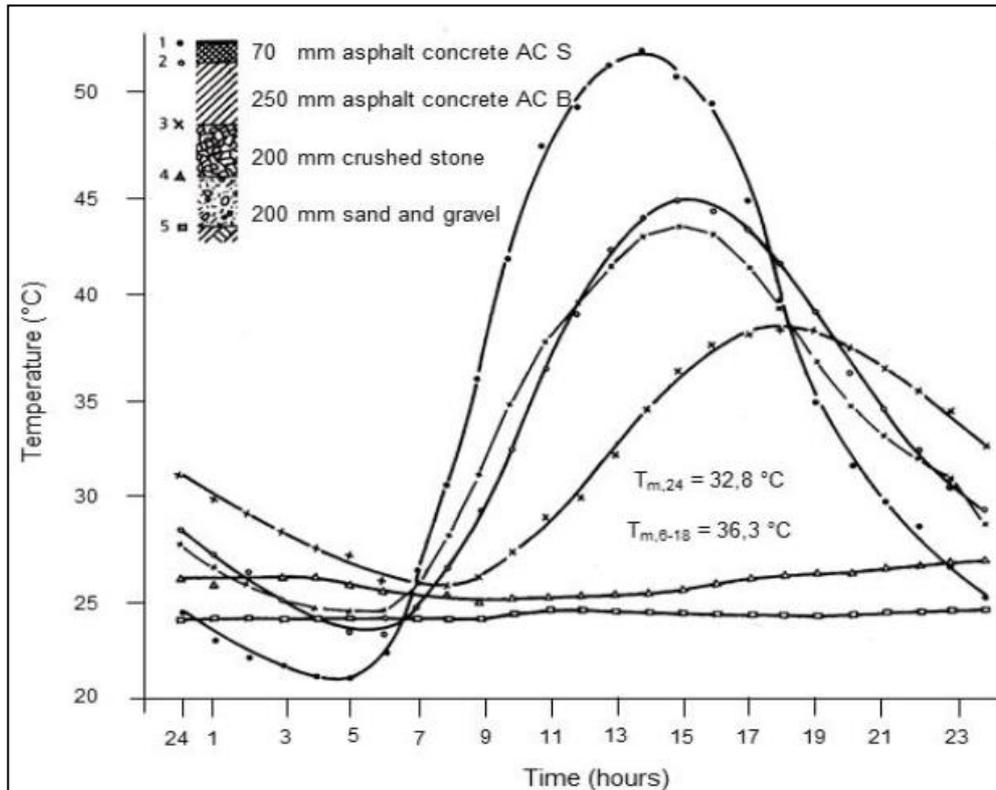


Figure (III.6) : Variation des températures internes de la chaussée due à la variation de la température en surface de la chaussée [22]

Il est clair que la température extérieure à la surface de la chaussée influe directement sur les températures intérieures du corps de chaussée et cette différence peut atteindre jusqu'à 27°C entre la surface et la profondeur de 72cm au cours de la période de temps entre 11h et 15h de la même journée.

Ahmed HEMED, et al. Dans leur article intitulé : "Impact of climate change on pavements Ahmed HEMED" [23], ont montré dans cette étude effets potentiels du changement climatique sur les structures de chaussée. Tests et analyses axés sur l'effet de l'augmentation de la température sur la chaussée performances et durée de vie. Le changement climatique aura des effets positifs (diminution dans l'indice de congélation de l'air hivernal) et les effets négatifs (augmentation du nombre de dégels hivernaux pouvant causer des problèmes de performance de l'orniérage des fondations fissuration par fatigue des couches de chaussée); la relation entre la teneur en eau dans la chaussée sols, aux précipitations a été développé dans le contexte de cet article, afin de relier l'eau contenu dans les sols avec l'augmentation prévue de les pluies; et la diminution de la durabilité des structures routières, l'augmentation des précipitations influent sur l'orniérage des chaussées, déformation permanente due à la fissuration par fatigue. L'augmentation des températures hivernales et leur diminution en hiver affectent énormément la durée de vie, et favorisent le aux de dégradation. [23].

III.6 CONCLUSION:

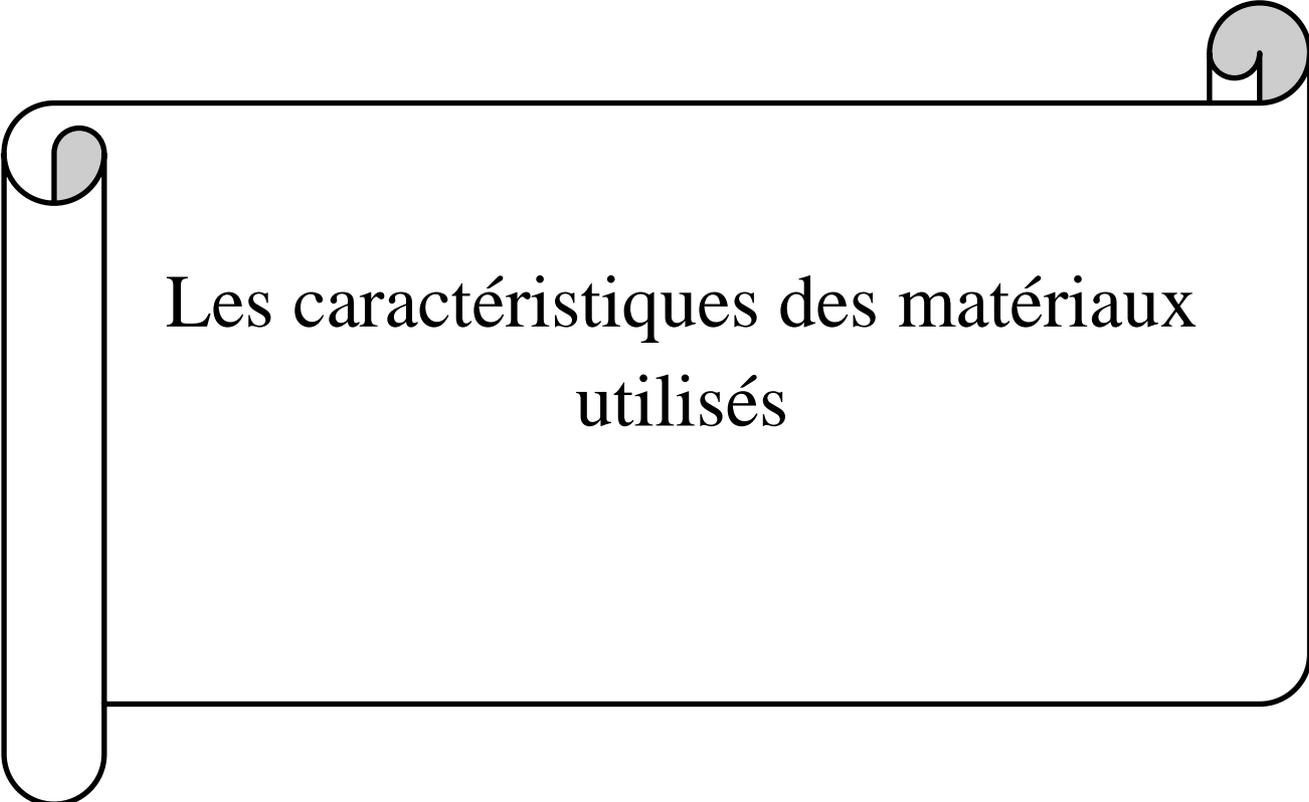
De ce qui précède, nous pouvons conclure que les variations de températures ont effet dégradant pour les structures des chaussées que se soient souples ou rigides.

Les températures extérieures à la surface de la chaussée sont les résultats des radiations solaires émises par le soleil, et la variation de celles-ci engendre la variation des températures des couches en profondeur. Ces variations sont, dans plusieurs pays du monde, assez importantes notamment dans la période estivale, et sont le facteur principal dans la dégradation des chaussées à cause du gradient thermique élevé qui en résulte, ce dernier engendre des contraintes supplémentaires additionnées à celles dues au poids propre de la structure de chaussée et sont d'autant aggravées par l'action mécanique du trafic intense du poids lourd.

Afin de mesurer l'effet de dégradation du changement quotidien de la température sur les qualités et performance de la couche de roulement jouant le rôle d'avant-garde pour le corps de chaussée, le programme expérimentale de la présente étude a été mené.

2EM PARTIE :
ETUDE
EXPERIMENTALE

Chapitre 04 :



Les caractéristiques des matériaux
utilisés

CHAPITRE IV : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

UTILISÉS

IV.1. INTRODUCTION:

Ce chapitre a pour objectif de présenter les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude et les diverses techniques qui ont servi à fabriquer et à caractériser les bétons bitumineux.

Donc dans ce chapitre, d'abord, nous allons exposer les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans la composition de béton bitumineux À savoir :

- La masse volumique.
- La granulométrie.
- La composition chimique.
- Equivalent de sable...etc.

Puis, nous présentons les mélanges choisis dans cette étude par la détermination de distribution granulométrique de chaque mélange choisi et les dosages de bitume supposés.

Finalement la conclusion qui récapitule tous les renseignements nécessaires exposé.

IV.2. CARACTERISTIQUES DES AGREGATS UTILISES :

Dans notre étude nous avons utilisé les agrégats de la région de Ain Touta wilaya de Batna.

IV.2.1. Masse volumique (NF P18-301) :

- Masse volumique absolue :

Est la masse par unité du volume de la matière qui constitue le sable, sans tenir compte des vides qui peuvent prendre place entre les grains. La formule qui permet de calculer ce paramètre est :

$$\gamma_S = M / V_S$$

Tels que :

γ_S : La masse volumique absolue (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

V_S : Le volume absolu de l'échantillon (cm³)

-Masse volumique apparente norme (NFP 94-064) :

Par définition la masse volumique γ_A d'un échantillon est le quotient de sa masse M par son volume V_a qu'il occupe :

$$\gamma_A = M / V_A$$

γ_A = La masse volumique apparente (g/cm³)

M : La masse de l'échantillon (g)

V_a : Le volume apparent de l'échantillon (cm³)

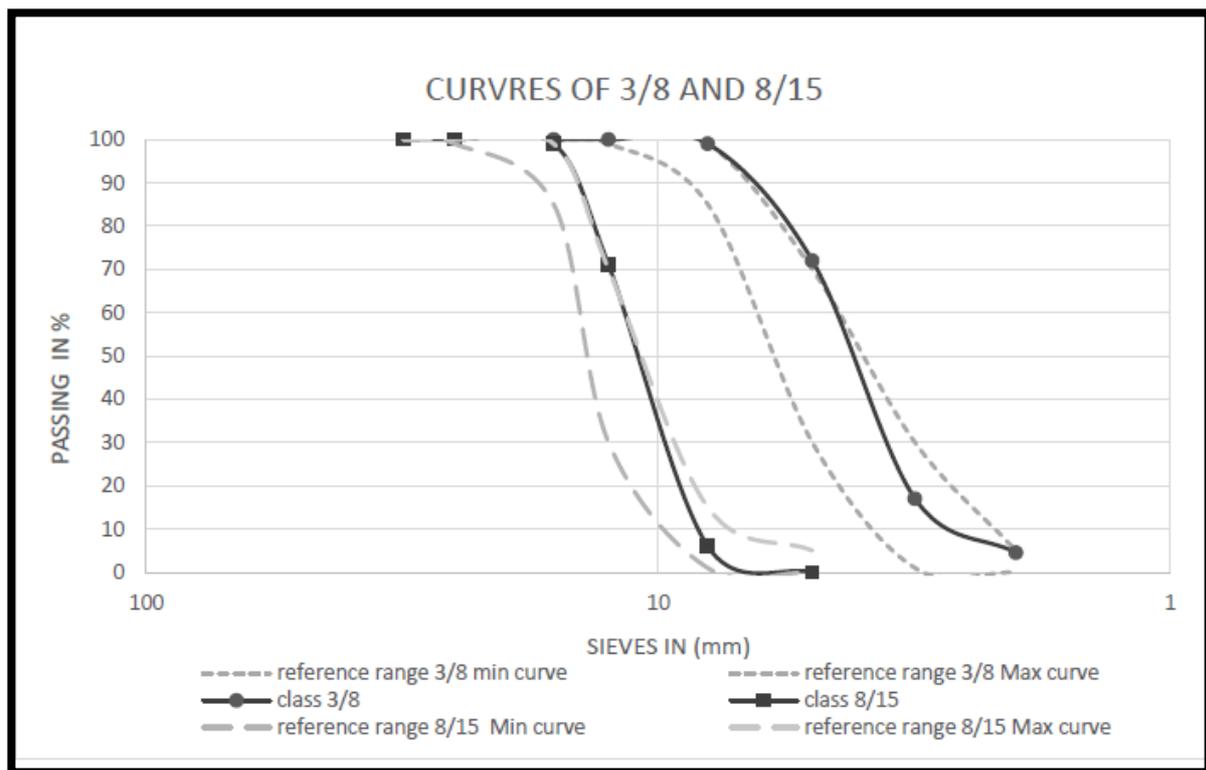
Les résultats se résument dans le tableau suivant pour le sable utilisé :

Tableau (IV.1) : Masse volumique absolue et apparente des agrégats utilisés

Type d'agrégats	γ_S (g/cm ³)	γ_A (g/cm ³)
Sable 0/3	2.70	1.42
Gravier 3/8	2.64	1.49
Gravier 8/15	2.69	1.48

IV.2.3. Analyse granulométrique (NFP 18-560)

Cet essai a pour objectif de déterminer la répartition des grains suivant leurs dimensions ou grosseurs pour les granulats supérieurs au diamètre 0,08 mm Les résultats de l'analyse granulométrique sont donnés sous forme d'une courbe dite courbe granulométrique.



IV.2.4. Equivalent de sable à 10% de fine (NF P18-597)

L'essai consiste à introduire la fraction 0/2 mm d'un sable ayant 10% de fines dans une éprouvette graduée, puis à séparer les fines des éléments plus grossiers par immersion et agitation dans une solution flocculant de chlorure de calcium. Après un repos de 20 min, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre +éléments fine (floculant).
- hauteur h2 : sable propre seulement.

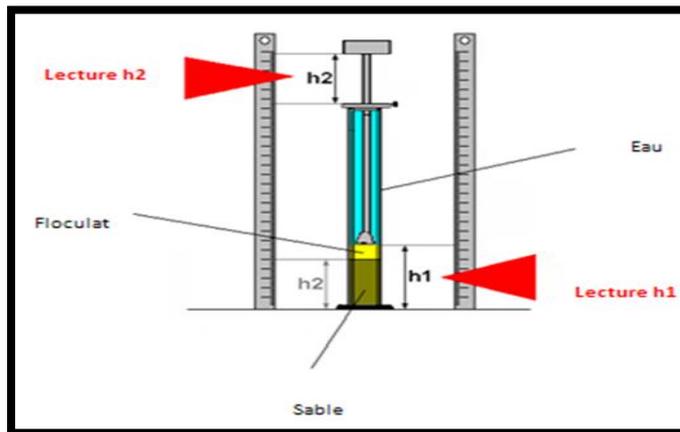


Figure (VI.2) : Principe d'essai d'équivalent de sable [23]

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau (VI.2) : Equivalent de sable

Type de sable	Sable 0/3	Spécification
ES%	51.45	≥ 60

IV.2.5 Essai bleu de méthylène (NF P 94-068) :

Cet essai a pour but de caractériser globalement la fraction argileuse contenue dans le matériau. Il consiste à mesurer la quantité de bleu de méthylène nécessaire pour recouvrir les particules d'argile de matériau.

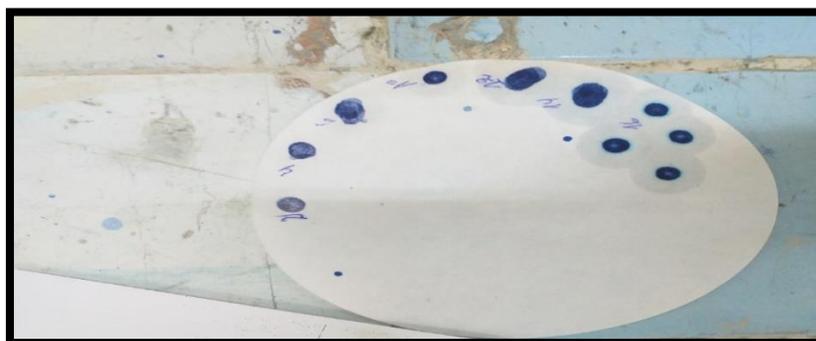


Photo (VI.3) : Essai au bleu de méthylène – vue de papier filtre et des tâches auréolées.

Tableau (VI.3) : bleu de méthylène

Type de sable		Remarque
VB	0.96	Le sol est limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau).

IV.2.6. Propreté superficielle (NF P 18-591)

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral des particules inférieures à 0,5mm mélangées

IV.2.7. Essai d'aplatissement (NF P18-561)

Ce coefficient permet de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

IV.2.8. Essai Los Angeles (NF P 18-573)

L'essai donne la résistance aux chocs du granulat. Plus le résultat est faible, plus le granulat est résistant aux chocs.

IV.2.9. Essai micro-deval en présence d'eau (MDE) (NF P 18-572)

Cet essai permet de déterminer l'usure d'une chaussée sous l'effet de frottements (pneus des véhicules).

Les résultats trouvés sont mentionnés dans le tableau suivant :

Tableau (VI.4): Caractéristiques des graviers utilisés

Les essais	Types de graviers		Spécifications
	3/8	8/15	
Essai de propreté	1.68	0.81	$\leq 2\%$
Essai d'aplatissement	21.41	16.5	$\leq 20\%$
Essai los Angeles	23.65		$\leq 25 \%$
Essai micro Deval	18.38		$\leq 20 \%$

Commentaries:

Après les essais sur les granulats, les résultats ont donné : les granulats de la carrière Ain touta Batna, sont acceptables.

IV.3 CARACTERISTIQUES DU BITUME UTILISE

Le bitume utilisé est un bitume pur de classe 40/50 provenant des fondoirs du la centre bitumes NAFTAL S.P.A de GHARDAIA. Après les essais d'identification réalisés sur ce bitume dans le laboratoire LTPS on a obtenu les résultats suivants :

Tableau (VI.5): Caractéristiques du bitume 40/50

Essai	Unité	Reference Norme	Résultat	Spécifications
Pénétrabilité à l'aiguille en 25°C	1/10 mm	NA 5192/EN 1426 NTF 66-008	42.7	40 à 50
Point de ramollissement TBA	°C	NA 2617/EN 1427 NTF 66-008	49.9	47 à 60
Densité relative à 25°C	g/cm ³	NA 5224/ NTF 66-007	1.04	1.00 à 1.10

- Commentaries:

Le bitume analysé répond bien aux caractéristiques de la classe 40/50 selon la norme NA 5265.

IV.4. DESCRIPTION DES MELANGES ETUDIES

La formulation en Algérie est basée sur la vérification des caractéristiques des composants ainsi que sur les essais Duriez et Marshall en fonction des matériaux granulaires. On choisit une formule qui donne un mélange ayant la meilleure aptitude au compactage et qui pourrait donner une meilleure stabilité au mélange hydrocarboné. Les fractions granulaires sont choisies parmi les suivantes : 0/3, 3/8, 8/15, les caractéristiques des granulats sont représentées comme suit :

IV.4.1 Etude Du Béton Bitumineux 0/14 :

Nous avons choisi d'étudier un béton bitumineux de classe 0/14, dont les gammes d'épaisseur d'application sont comprises entre 7 et 9 cm (minimum absolu 6 cm).

Les pourcentages obtenus sont déterminés d'après la courbe granulométrique de chaque agrégat en tenant compte du fuseau de référence 0/14.

La composition obtenue est la suivante :

Gravier de classe 8/15..... 33 %
 Gravier de classe 3/8.23 %
 Sable de classe 0/3..... 42 %
 Filler.....2%

Tableau (VI.6) : Analyse Granulométrique du Mélange Etudier 0/14 :

Tamis	Gravier 8/15	Gravier 3/8	Sable 0/3	Filler <0.08mm	Mélange étudié
16	32	23	42	2	99
12.5	25	23	42	2	92
10	13	23	42	2	80
8	5	20	42	2	69
6.3	2	12	42	2	58
5	1	6	42	2	51
4	0	2	41	2	45
3.15	0	2	37	2	41
2.5	0	1	33	2	36
2	0	1	29	2	33
1.25	0	1	25	2	28
1	0	0	23	2	25
0.63	0	0	16	2	18
0.315	0	0	13	2	15
0.16	0	0	10	2	12
0.08	0	0	6	2	8

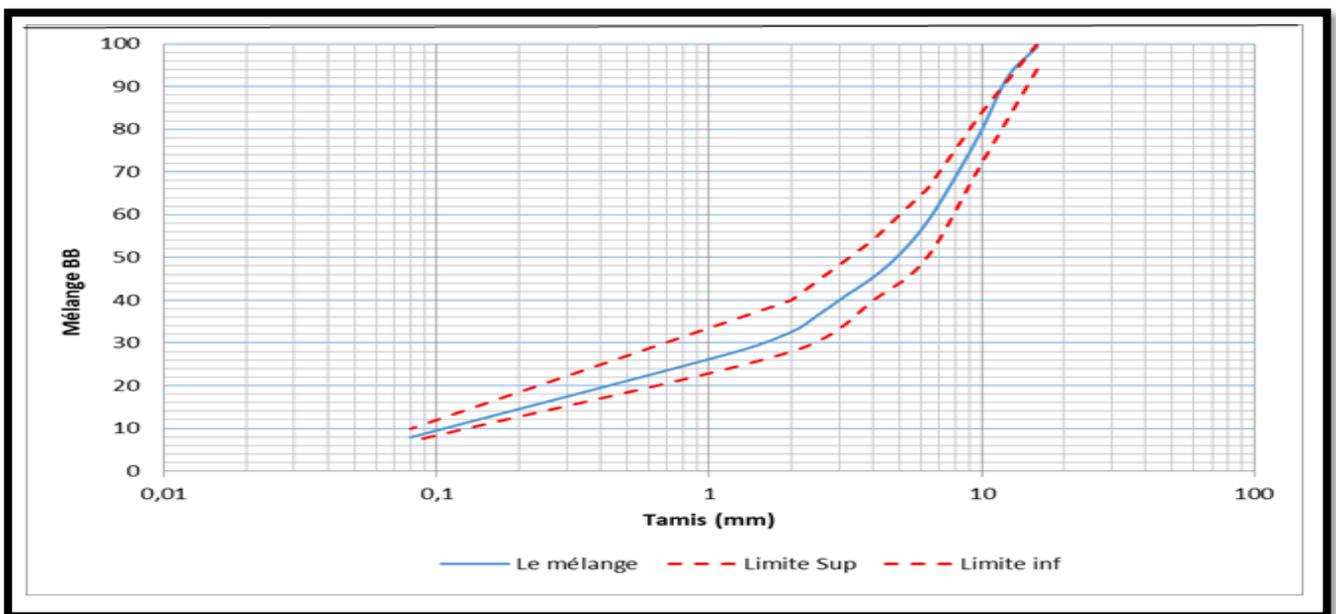


Figure (VI.4) : COURBE DU MELANGE ETUDIER 0/14

IV.4.2 Détermination des teneurs en bitume :

Pour déterminer la teneur en liante optimale, on introduit la notion de surface spécifique des granulats notés Σ et exprimée en m^2 / kg , c'est-à-dire la surface développée qu'auraient les granulats assimilés à des sphères.

Pour un mélange granulométrique donné, la formule suivante permet d'avoir une approximation de la surface spécifique Σ :

$$100\Sigma = 0,25 G + 2,3S + 12 s + 135 f$$

Avec :

- G : éléments supérieurs à 6,3 mm,
- S : éléments compris entre 6.3 et 0.315 mm,
- s : éléments compris entre 0.315 et 0.08 mm,
- f : éléments inférieurs à 0,08 mm

La teneur en liant, fonction de la surface spécifique des granulats, est donnée par la formule expérimentale suivante :

$$P = \alpha \cdot k5\sqrt{\Sigma}$$

Avec :

- P : teneur en liant (%)
- α : coefficient destiné à tenir compte de la masse volumique réel des granulats « MVRg ». Si celle-ci diffère de 2,65 t / m³, on utilise la formule suivante :

$$\alpha = 2.65 \div MVRg$$

- Σ : surface spécifique des granulats (m^2 / kg),
- K : le module de richesse qui se caractérise l'épaisseur moyenne du film de bitume autour de granulats riches (k varie pour Béton Bitumineux 0/14 de 33 à 3,90).

Les teneurs en liants en fonction des modules de richesse sont données dans le tableau

Le choix de la teneur en bitume optimale sera obtenu par la réalisation de l'essai Marshall sur des éprouvettes normalisées, correspond à une stabilité maximale.

Notons que dans le tableau ci-dessous, les teneurs en liant exprimées sont relatives au poids des granulats. Les pourcentages du liant sont rapportés au poids du mélange.

Tableau (VI.7): Teneurs en bitume

Module de richesse (K)	3.4	3.5	3.6	3.7
$P = \alpha \cdot k5\sqrt{\Sigma}$	5,71	5,88	6,05	6,22

PLAN DE TRAVAIL:

- 1 CONFECTION DES EPROUVETTES:

Les éprouvettes sont confectionnées suivant le type d'essai soit Marshall ou Duriez.

Confection des éprouvettes pour l'essai Marshall (NFP 98-251-2): Comme dans les autres méthodes d'analyse, l'éprouvette Marshall est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique (photo (VI.5)), d'une masse indicative de 1200 g, de 105 mm de diamètre et de 63,5 mm de hauteur théorique.



Photo (VI.5): Exemple d'éprouvettes Marshall.

Confection des éprouvettes pour l'essai Duriez (NFP 98-251-1):

L'éprouvette de Duriez est déterminée par confection d'une éprouvette cylindrique (photo (VI.6)), d'une masse indicative de 1000 g, de 80 mm de diamètre et de 190 mm de hauteur.



Photo (VI.6): Exemple d'éprouvettes Duriez.

2 Conservation des éprouvettes:

Les éprouvettes ne sont pas conservées suivant la norme d'essai soit pour Marshall ou Duriez, on a changé la méthode de conservation

Pour Marshall :

La norme indique qu'après le démoulage on laisse les éprouvettes refroidissent à l'air libre pendant 24h, après on les mets dans un bain marie à 60°C pendant 40 minutes afin d'exécuter l'essai

Dans notre travail, on a conservé les éprouvettes dans un four à (60°C) pendant 12h, puis dans un réfrigérateur à (-5°C) pour une autre 12h. Cette opération à durée (07) sept jours avant l'écrasement des éprouvettes, puis 14 jours et 21 jours.

Pour Duriez :

La norme indique qu'après le démoulage on laisse les éprouvettes refroidissent à l'air libre pendant 24h, après on exécute l'essai.

Dans notre travail, on a conservé les éprouvettes dans un four à (60°C) pendant 12h, puis dans un réfrigérateur à (-5°C) pour une autre 12h. Cette opération à durée (07) sept jours avant l'écrasement des éprouvettes, puis 14 jours et 21 jours.



Photo (VI.7) : conservation des éprouvettes Marshall et Duriez.

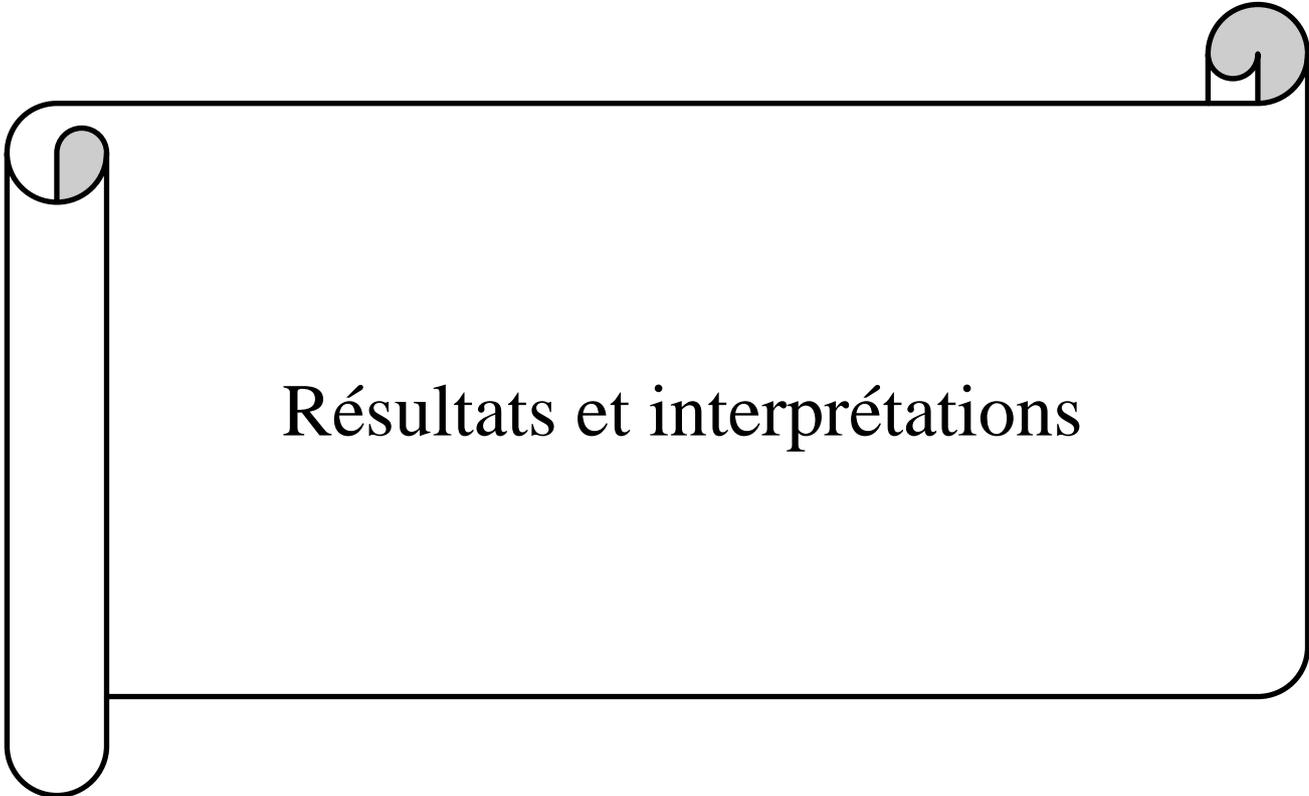
IV.5 CONCLUSION :

Dans ce chapitre nous avons essayé d'identifier les types des agrégats utilisés dans cette étude : sable concassé 0/3, gravier 3/8 et gravier 8/15, suivant les normes recommandées.

Après analyse des différents agrégats nous avons conclu que les granulats du concasseur (AIN TOUTA, BATNA), sont propres et ils ont une distribution granulométrique bien graduée.

Les granulats de la présente étude de formulation ont montré une qualité acceptable du point de vue caractéristiques intrinsèques et de fabrication pour une utilisation dans la confection d'un Béton Bitumineux BB 0/14.

Chapitre 05 :



Résultats et interprétations

V.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous allons exposer les travaux menés pour la réalisation de la partie expérimentale, à savoir les deux essais mécaniques, l'essai Marshall et l'essai Duriez sur le béton bitumineux, et dont les résultats des essais effectués au sein du laboratoire des travaux publics sud –Ouargla (LTPS) seront discutés et interprétés dans la mesure du possible.

Il y a lieu de rappeler que ces essais ont pour but de déterminer l'effet du gradient thermique sur les chaussées souples.

V.2 LA MASSE VOLUMIQUE APPARENTE PAR PESEE HYDROSTATIQUE (NF P 98-250-6) :

Les éprouvettes avant de l'application de l'essai feront l'objet de détermination de la densité qui est présentée sur l'histogramme de la figure (V.1) qui montre la variation de la densité en fonction de l'âge (7 jours et 14 jours) suite au programme de conservation adopté:

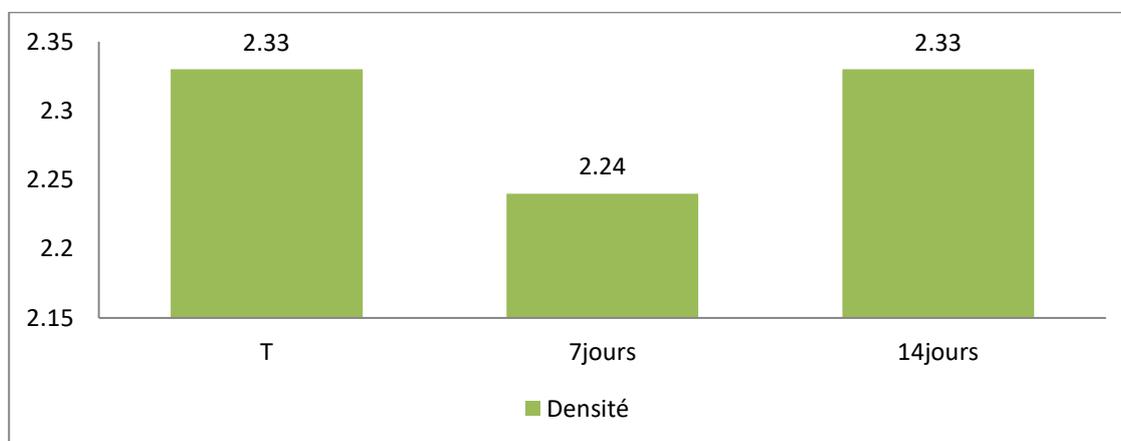


Figure (V.1): variation de la densité en fonction du temps.

- Analyse et discussion :

D'après la figure (V.1) qui présente la variation de la densité des éprouvettes en fonction du temps, on constate qu'en comparant les densités des éprouvettes à 7 et 14 jours, à la densité de l'éprouvette témoin (2,48), celles-ci sont différentes à 7 jours on a 2.24 et à 14 jours elle est de 2.33. Une diminution de la densité à 7 jours et puis une reprise à 14 jours.

-
- Le taux diminution de la densité pour l'éprouvette à 7 jours est de 9,67% et le taux diminution à 14 jours est de 6,04 % comparativement à l'éprouvette témoin.

- **Interprétations :**

D'après les résultats trouvés, il semble que les éprouvettes après 7 jours de soumission à un cycle thermique de température entre 60C° et -5 C° (chaud et froid 12 heures / 12 heures), les éprouvettes se décompactent et donnent une densité plus faible.

A 14 jours de soumissions au même cycle la densité des éprouvettes reprennent leur densité sans pour autant atteindre celle des éprouvettes témoins.

L'effet de dégradation dû aux variations de température sur les chaussées souples a été relaté par plusieurs chercheurs tels que Lu Gao et al. (2019) [27] où ils concluent que les données du réseau routier du Texas recueillies entre 2000 et 2008 pour l'estimation de l'effet de la température moyenne et les précipitations de 1 à 23 mois et que l'analyse des résultats démontrent que la moyenne des précipitations et la température mensuelles ont des effets importants sur l'état de la chaussée. Encore Ahmed Ebrahim et Abu El-Maaty, (2017) [28], où ils confirment cette notion de dégradation due aux changements de température.

V.3 ESSAI MARSHALL (NFP 98-251-2) :

D'après la figure (V.2) et la figure (V.3) qui présentent la variation la stabilité et le fluage Marshall des éprouvettes en fonction du temps, on constate qu'en comparant les résultats des éprouvettes à 7 et 14 jours, à la stabilité de l'éprouvette témoin (114.4), celles-ci sont différentes à 7 jours on a 7.84 et à 14 jours elle est de 8.28. Une diminution de la stabilité à 7 jours et 14 jours est assez claire, malgré la petite légère reprise, entre 7 et 14 jours, pratiquement insignifiante.

Pour ce qui est du fluage, pour l'éprouvette témoin (2.46) ou les éprouvettes à 7 et 14 jours de soumission aux conditions cycliques de température, sont respectivement de 2.28 et 2.72.

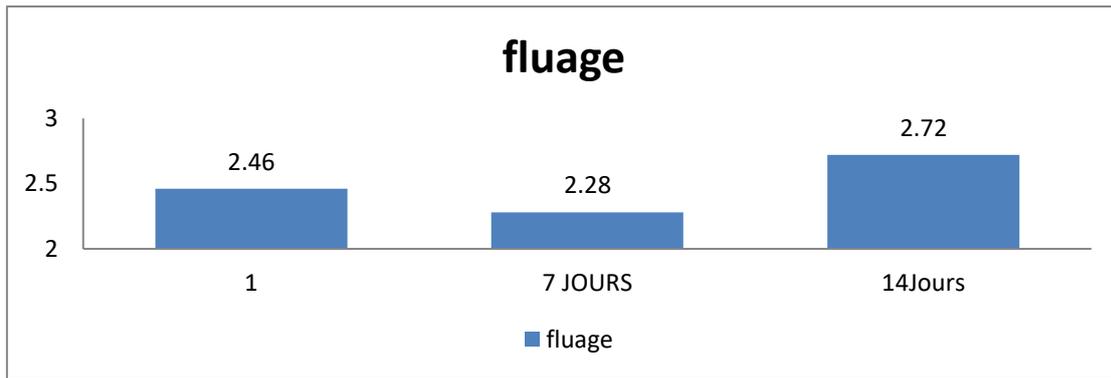


Figure (V.2): variation du Fluage Marshall en fonction du temps.

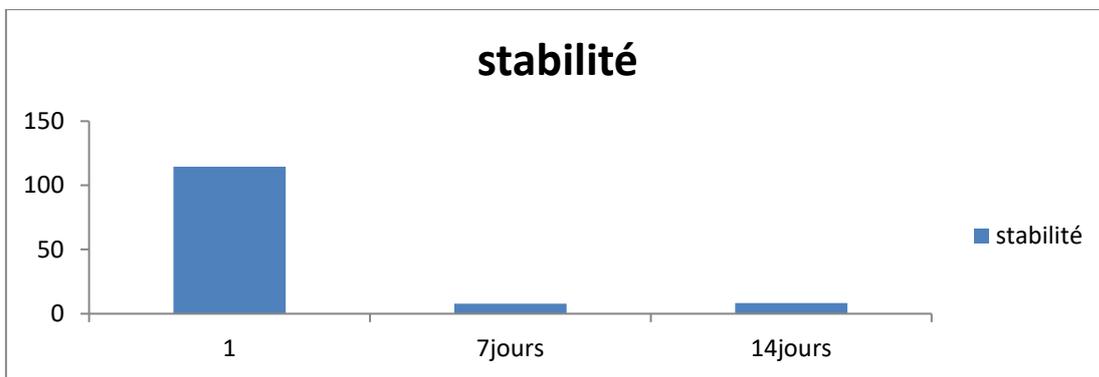


Figure (V. 3): variation de la stabilité Marshall en fonction du temps.

- **Analyse et discussion :**

D'après la figure (V.2) et (V.3) qui présente la variation du Fluage et la Stabilité Marshall des éprouvettes en fonction du temps, on constate que dans le cas d'éprouvette témoin la valeur de fluage est (2,46) et la valeur de stabilité est (114,4) et dans le cas de (07) jours, on remarque une grande chute des valeurs de stabilité qui arrive jusqu'à (7,84) et une légère chute de fluage (2,28), pour le cas de (14) jours la valeur de la stabilité a légèrement augmentée (8,28), et la valeur du fluage a connu une hausse jusqu'à (2,72).

- Le taux diminution du fluage pour l'éprouvette de (07) jours est de 7,31% et le taux d'augmentation de (14) jours est de 9,56%.
- Le taux diminution de stabilité pour l'éprouvette de (07) jours est de 93,15% et le taux de diminution de stabilité pour l'éprouvette de (14) jours est de 92,76%.

- **Interprétations :**

D'après les résultats trouvés, il semble que la soumission des éprouvettes à un cycle thermique de température entre 60C° et -5 C° (chaud et froid 12 heures / 12 heures), influe

défavorablement sur la stabilité des éprouvettes à un pourcentage assez prononcé de l'ordre 93% juste au cours de 14 jours, néanmoins l'effet des mêmes conditions de conservation influe différemment sur fluage, une diminution à 7 jours et puis une augmentation à 14 jours.

L'effet dégradant est en concordance avec la littérature notamment ceux indiqués précédemment [] et [], alors que la reprise des performances peuvent être due à l'auto-réparation par effet de température comme indiqué par Manuel J. C. Minhoto et al. [29], où ils disent que la température par son effet sur les propriétés des matériaux ont un impact positif sur la durée de vie du revêtement. Dans ce même contexte MAILLAR SAMUEL [30] confirme ce comportement.

V.2.3 Essai Duriez (NFP 98-251-1) :

On construit l'histogramme de la variation de résistance à la compression à l'air (Duriez) en fonction de l'âge (7 jours et 14 jours) (figure V.3) :

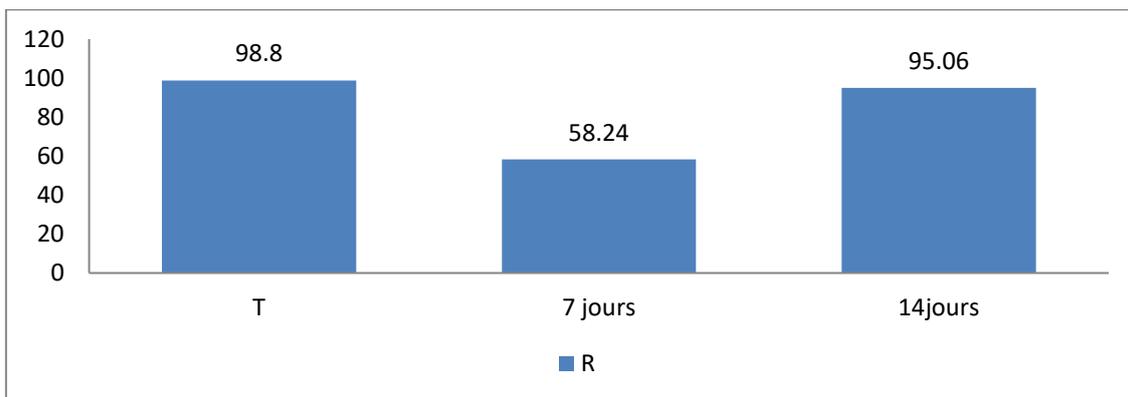


Figure (V.4): variation de la résistance à la compression à l'air (Duriez) en fonction du temps.

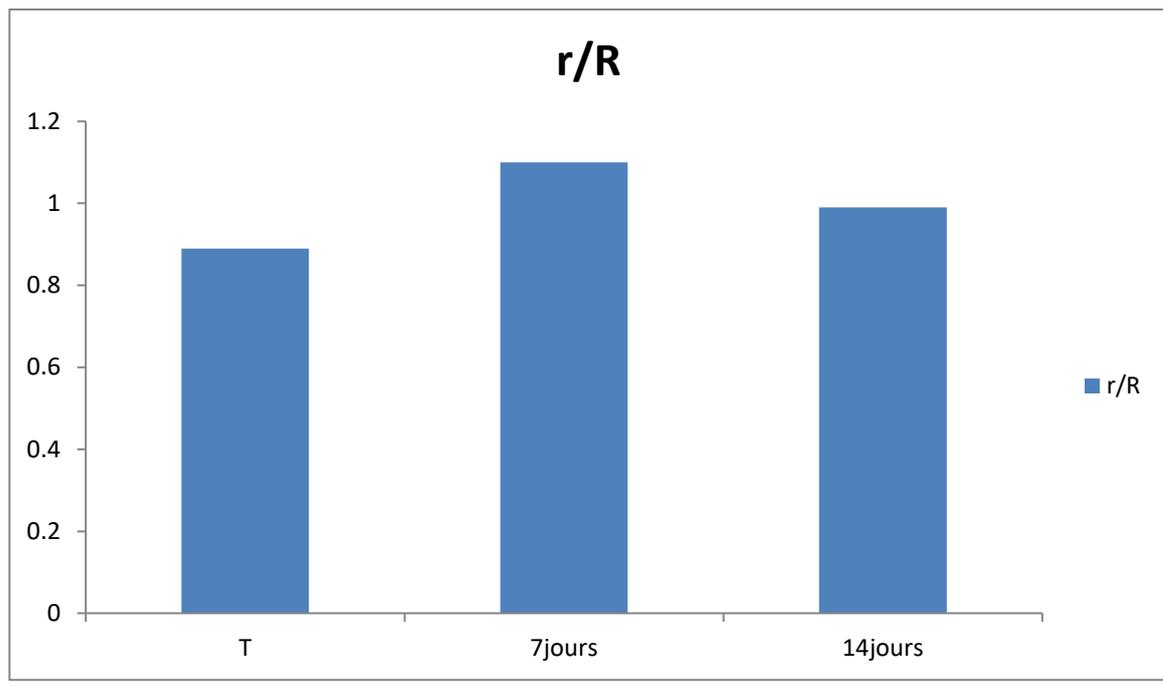


Figure (V.5): variation du rapport d'immersion (Duriez) en fonction du temps.

- **Analyse et discussion :**

D'après la figure (V.3) qui présente la variation de Duriez des éprouvettes en fonction du temps, on constate que dans le cas d'éprouvette témoin la valeur de la résistance à la compression à l'air (R) est (98,8) et la valeur du rapport d'immersion (r/R) est (0,89) et dans le cas de (07) jours, on remarque une chute de valeur de la résistance à la compression à l'air (R) : (58,24) et une légère augmentation du valeur du rapport d'immersion (r/R) est (1,10) pour le cas de (14) jours la valeur de la résistance à la compression à l'air (R) a augmentée : (95,06) et on remarque une légère diminution de valeur du rapport d'immersion (r/R) est (0,99).

- Le taux diminution de la résistance à la compression à l'air (R) pour l'éprouvette de (07) jours est de 41,05 % alors qu'à l'âge de 14 jours la diminution est de 3,78 %.
- Le taux réduction de la valeur du rapport d'immersion (r/R) pour l'éprouvette de 7 jours est de 27,09 % et alors qu'à l'âge de 14 jours en remarque le taux augmente de 92,76%.

- **Interprétations :**

D'après les résultats, il semble que les éprouvettes après 7 jours de soumission à un cycle thermique de température entre 60C° et -5 C° (chaud et froid 12 heures / 12 heures), se sont influées négativement quant à leur résistance à la compression à l'air (R), tandis que celles soumises au même cycle pendant 14 jours se sont influées positivement.

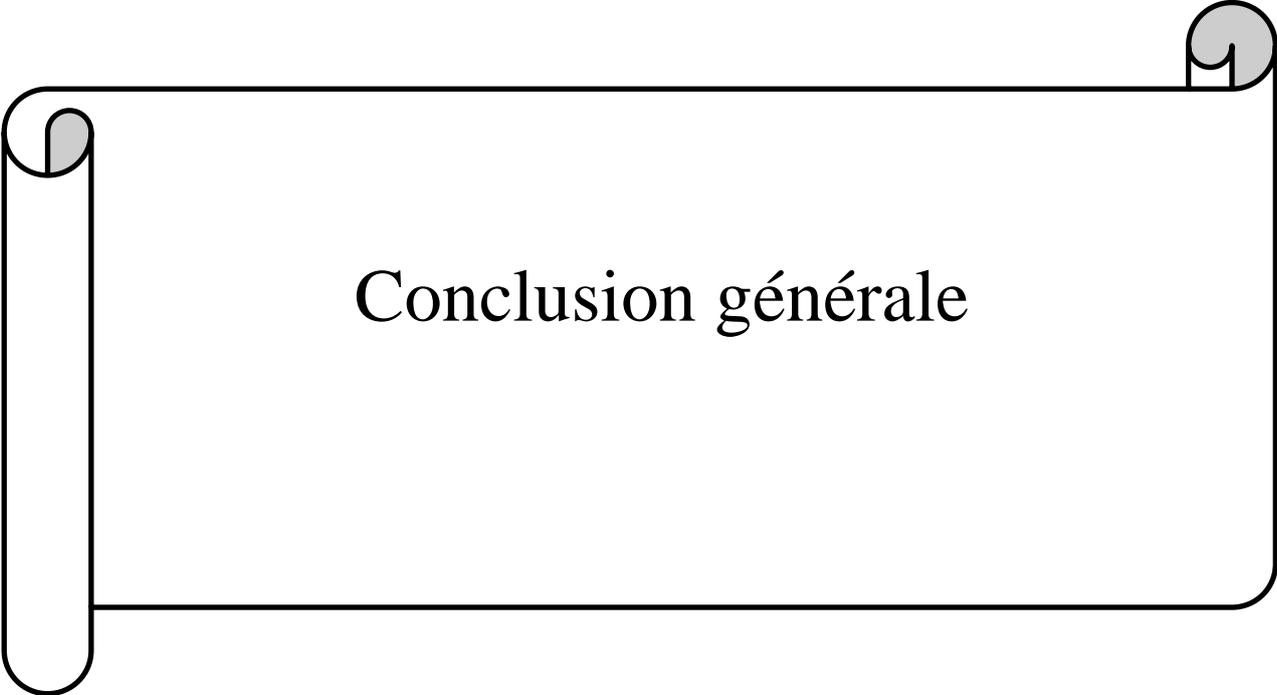
Pour ce qui est du rapport d'immersion, on a remarqué un changement insignifiant.

Tableau (V.1) : récapitulatif des résultats retenus

Durée du conservation essais réalisés	Témoin		7 jours		14 jours	
Densité (NF P 98 - 250- 6)	2,48		2,24		2,33	
Marshall (NFP 98-251-2)	Stabilité= 114,4	Fluage= 2,46	Stabilité= 7,84	Fluage= 3,46	Stabilité= 8,28	Fluage= 3,04
Duriez (NFP 98-251-1)	(R)= 122,3	(r /R)= 0,615	(R)= 58,24	(r /R)= 1,1	(R)= 95,06	(r /R)= 0,99

V.3 Conclusion :

Les propriétés mécaniques des chaussées souples sont très influencées par les variations de températures au moins dans la plage de température testée (un cycle thermique entre 60C° et -5C° (chaud et froid : 12 heures / 12 heures), la loi de ce comportement est encore non claire car sa nécessite d'autre moyens plus sophistiqués afin d'aller plus profondément dans les interprétation du phénomène. Encore la durées réservée aux essais est assez coute pour voir ce comportement dans des âges plus prononcés.

A decorative graphic of a scroll with a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a grey shadow on the top edge.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Dans le cadre d'une étude du comportement du béton bitumineux sous l'effet du changement de la température dans les zones avec un climat aride et agressif, une investigation expérimentale a été conduite afin d'étudier « l'effet du gradient thermique sur le corps de chaussée dans les zones sahariennes », ou l'exemple d'étude était la wilaya d'Ouargla, L'objectif principal visé à travers cette étude est l'obtention d'une formulation bitumineuse optimale pour augmenter la durabilité des routes dans ces conditions

A cet égard une étude bibliographique a été menée qu'on peut la résumer en ce qui suit:

Il a été largement admis dans le domaine de la recherche sur les chaussées que la température affecte principalement les couches d'asphalte, où les augmentations de température peuvent réduire la rigidité des matériaux d'asphalte, qui peut limiter la réponse contrainte-déformation de la chaussée et réduire la capacité d'une structure de chaussée à répartir les charges.

La température de la chaussée dépend du bilan énergétique, en particulier sur la surface de la chaussée. La chaussée absorbe la chaleur de l'énergie solaire. Une certaine énergie quitte la chaussée par rayonnement et convection, et la magnitude de la perte de chaleur par convection dépend de la température de l'air et de la vitesse du vent. La chaleur est conduite à travers couches d'asphalte aux couches inférieures. La capacité thermique et la conductivité thermique des matériaux de chaussée sont des propriétés importantes qui déterminent le profil de température dans la chaussée

De plus, même si le changement de rigidité de ces matériaux n'est pas significatif au cours d'une seule journée, des changements dans la réponse contrainte-déformation et dans la capacité de répartition de la charge peuvent par leurs effets à long terme accélérer la détérioration de la chaussée. De plus, la capacité des matériaux bitumineux à résister à la déformation permanente diminuent à mesure que la température augmente. À l'extrême cas, lorsque la température ait des augmentations journalières / horaires significatives, la déformation est fortement accélérée.

L'augmentation des plages de température due au changement climatique peut augmenter les contraintes thermiques dans les couches d'asphalte, et on peut s'attendre à davantage craquage thermique.

De plus, une température plus élevée peut entraîner un vieillissement plus rapide des mélanges d'asphalte, et les chaussées peuvent deviennent plus sujettes à la fissuration en raison de la fragilité.

La partie expérimentale à consister à un ensemble d'essais qui ont été réalisés : Marshall et Duriez. Sur la base des résultats de cette étude il est possible de mettre en évidence les conclusions principales suivantes :

Sur la base des résultats de cette étude il est possible de mettre en évidence les conclusions principales suivantes :

La wilaya de Ouargla s'étale sur un large territoire, et se positionne idéalement au centre de la région programme Sud/Est, elle est caractérisée par un climat saharien, avec une pluviométrie très réduite, des températures élevées, une forte évaporation et par une faiblesse de la vie biologique de l'écosystème.

les variations de températures ont effet dégradant pour les structures des chaussées que se soient souples ou rigides.

Après analyse des différents agrégats nous avons conclu que les granulats du concasseur (AIN TOUTA, BATNA), sont propres et ils ont une distribution granulométrique bien graduée.

Les propriétés mécaniques des chaussées souples sont très influencées par les variations de températures au moins dans la plage de température testée (un cycle thermique entre 60C° et -5C° (chaud et froid : 12 heures / 12 heures)

PERSPECTIVES:

A la fin de cette étude, nous recommandons ce qui suit:

Reprendre le même travail pratique sur les couches de revêtement pour des durées plus élevées afin de décrire le phénomène réel de la région de Ouargla.

Simuler le comportement pratique de la chaussé par des modèles numériques afin de décrire d'autres phénomènes qui sont propre à notre région.

Encourager ce genre de recherches sur les chaussées qui sont moins connue dans notre région notamment l'effet de couplage des phénomènes (variation de températures, humidité, présence d'eau, vent...etc.



Référence:

- [1]. Wikipédia.com
- [2]. La DTP-Ouargla
- [3]. Andi.dz/PDF/monographies/Ouargla.pdf
- [4]. **HELIL.H, KHOUDJA. N, 2017** : « Mémoire de master en génie civil » (Etude du renforcement du béton bitumineux à base de sable des dunes).
- [5]. www.texum.swiss/fr/wikitex/lexique
- [6]. Les structures routiers : « JBL lycée Adolphe CHERIOUX » (lycée –cherioux.fr).
- [7]. **SADOUN SOUHILA, 2011** : « Mémoire de Magister en génie civil » (Etude du renforcement du béton bitumineux recyclé par des granulats plastique).
- [8]. CTTT : LES CARACTERISATION D'UN ENROBE A BASE DE SABLE DE DUNE PAR LES ESSAIS DES 4 NIVEAUX DE FORMULATION.
- [9]. **M.MERBOUH, (2010)**:«Contribution à la modélisation du comportement rhéologique des enrobés bitumineux, Influence des conditions extrêmes de température et de trafic en fatigue», (Thèse Doct. Université BORDEAU 1, sciences technologies).
- [10]. **KHENGAOUI SAFIA, 2013** : « En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Génie Civil » (valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable – bitume).
- [11]. [www.google.com/enrobés bitumineux/PDF](http://www.google.com/enrobés%20bitumineux/PDF); « les enrobés bitumineux», les éditions le griffon d'argile, mise à jour 2002.PP117.
- [12]. **ADAMA DIONE** : Université Cheikh Anta Diop de Dakar - Master 2011.
www.memoireonline.com
- [13]. CONCEPTION GEOMETRIQUE ET STRUCTURELLE DES ROUTES Côte d'Ivoire.
www.slideplayer.fr/slide
- [14]. Hauptstrasse 591 CH-4625 Oberbuchsiten Solothurn Schweiz. www.impbautest.ch
- [15]. www.hoskin.ca.com
- [16]. **ANOUAR-ABDELAZIZ** : ZEMMIRI ENTPE de Lyon - Certificat d'études supérieures 2008. www.memoireonline.com
- [17]. LNE, les propriétés thermiques des matériaux et les références méthodologiques.
- [18]. **Omar T.Farouki**, The thermal properties of soils in cold regions Author.
- [19]. Manuel d'identification des défardassions des chaussées souples, Québec, ISBN 2-551-21654-0

[20]. **Research Institute King Fahd University of Petroleum and Minerals** Dhahran 31261, PP:169-182, Saudi Arabia.

[21]. **Ahmed Ebrahim Abu El-Maaty**, "Temperature Change Implications for Flexible Pavement Performance and Life" *International Journal of Transportation Engineering and Technology*, 2017; 3(1): 1-11, <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ijtet>

[22]. Gschwendt I. & A. Zuzulová A., "Climate conditions and their impact on road pavement design", Department of Civil and Transportation Engineering, Slovak University of Technology in Bratislava, Bratislava, Slovak Republic, 2009.

[23]. Ahmed HEMED, et al. "Impact of climate change on pavements Ahmed HEMED", *E3S Web of Conferences* **150**, 0100 (2020) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20201500100> *EDE7-2019*.

[24]. Carte extraite d'un rapport de la DTP Ouargla (l'année 2018).

[25]. Rapport de la météo de Ouargla de L'année (2014).

[26]. photos tirée de la direction des travaux publics- Ouargla.

[27]. Impacts of Seasonal and Annual Weather Variations on Network-Level Pavement Performance.

[28]. Température Change Implications for Flexible Pavement Performance and Life

[29]. Manuel J. C. Minhoto et al., "The influence of temperature variation in the prediction of the pavement overlay life", See, discussions stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/245440894>

[30]. MAILLAR SAMUEL, "Fissuration et autoréparation des liants bitumineux- apport de l'essai de rupture locale répétée sur bitume-", Thèse de doctorat, école centrale de Nantes et l'université de Nantes, année 2005.

